

ปัญหาความเสียหายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและแนวทางการแก้ไข



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Low Inertia Problem in Amphoe Mueang Mae Hong Son's Microgrid and Its Remedy



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัญหาความเสียหายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและแนวทางการแก้ไข
โดย	น.ส.สัจจพร ชินะวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ แสงวงศ์วานิชย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุ่นเจริญ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ แสงวงศ์วานิชย์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สมภพ อึ้งมุงค)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สัจจพร ชินะวงศ์ : ปัญหาความเฉื่อยต่ำในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมือง  
แม่ฮ่องสอนและแนวทางการแก้ไข. ( Low Inertia Problem in Amphoe Mueang  
Mae Hong Son's Microgrid and Its Remedy ) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.สมบูรณ์  
แสงวงศ์วานิชย์

ระบบไฟฟ้าของอำเภอแม่ฮ่องสอนรับกระแสไฟฟ้ามาจากสายส่ง 115 กิโลโวลต์ เมื่อเกิด  
ความผิดปกติจะส่งผลกระทบต่อปัญหาไฟดับและยากต่อการแก้ไข เนื่องด้วยสภาพแวดล้อมทางภูมิ  
ประเทศ ซึ่งจะทำให้ระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อย  
ต่ำเมื่อเทียบกับขณะเชื่อมต่อกับสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีเป้าหมายในการ  
วิเคราะห์ปัญหาภายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีค่าความเฉื่อยต่ำ โดยพิจารณา  
ความเป็ยงเบนของความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงาน  
แสงอาทิตย์ ราย 10 วินาที เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญความละเอียดของข้อมูล รวมถึงนำเสนอแนวคิดการ  
ใช้สมการการแกว่งของระบบเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเฉื่อยที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของ  
อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนกรณีต้องการควบคุมความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนดและการเสนอแนว  
ทางการแก้ไขโดยใช้ความเฉื่อยเพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าในพื้นที่ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่  
ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่ปัจจุบันไม่ค่อยได้ใช้งาน  
โดยปรับปรุงให้เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัส เพื่อประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่มีในพื้นที่ให้เกิด  
ประโยชน์สูงสุด งานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนด้วย  
โปรแกรม DiGSILENT เพื่อทดสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์และแนวทางการแก้ไขปัญหาความ  
เฉื่อยต่ำที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6070423021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: low inertia, frequency deviation, microgrid, mini-hydro, synchronous condenser

Sajjaporn Chinawong : Low Inertia Problem in Amphoe Mueang Mae Hong Son's Microgrid and Its Remedy . Advisor: Asst. Prof. SOMBOON SANGWONGWANICH, D.Eng.

Amphoe Mueang Mae Hong Son's electrical system receives electricity from a 115 kV transmission line. When a fault occurs, it will result in power failure and it is difficult to be fixed due to the restricted access environment. In such a case, Amphoe Mueang Mae Hong Son's electrical system will become a low inertia microgrid compared to when connected to the 115 kV transmission line. This thesis aims to analyze the problem related to the low inertia microgrid of Amphoe Mueang Mae Hong Son by considering the frequency deviation due to load and PV fluctuations. 10-second recorded current profiles at the PEA's substation which represents most of the significant loads and PV generation data are used in the study to point out the importance of data resolution. Moreover, the aggregated swing equation is applied to determine the appropriate inertia for Amphoe Mueang Mae Hong Son's microgrid operation to keep the frequency within the utility's grid code. Remedies to alleviate the frequency fluctuation are proposed by using additional inertias from local power plants in combination with a battery energy storage system. The local power plants include the expanded Mae Hong Son small hydropower plant (Pha Bong) and the diesel power plants retrofitted as synchronous condensers. Simulation of the Amphoe Mueang Mae Hong Son's microgrid using DIgSILENT program is performed to validate the analysis results and the presented ideas in this thesis to cope with the low-inertia problem.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2020

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้อบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีมาตลอดช่วงการทำวิทยานิพนธ์และการศึกษาระดับมหาบัณฑิต ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.เนน บุญ หุนเจริญ และ ดร.สมภพ อัมภมมงคล ที่ได้เสียสละเวลาในการพิจารณาการสอบและตรวจสอบแก้ไข รวมถึงเอื้อเฟื้อเพื่อข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ สุวรรณภักดิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและกำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณ นายศิริวัฒน์ เตชะพกาพงษ์ และ นางสาวธัญชนก เอื้อเสถียร ที่ช่วยให้ข้อมูลสำคัญ ซึ่งเป็นประโยชน์และเป็นส่วนหนึ่งของความสำเร็จในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนนิสิตระดับมหาบัณฑิตห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังทุกคนที่ได้คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และประสบการณ์ที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ที่เป็นส่วนสำคัญทั้งกำลังใจและให้การสนับสนุนการศึกษาจนสำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิต

สัจจพร ชินะวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง .....	3
1.2.1 ปัญหาในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อยต่ำ .....	3
1.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	5
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 ข้อมูลทั่วไปและแบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	7
2.1 สภาพภูมิประเทศของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	7
2.2 ข้อมูลด้านระบบไฟฟ้า.....	8
2.2.1 ด้านการปฏิบัติการ.....	9
2.2.2 ด้านผู้ผลิต.....	10
2.2.2.1 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา .....	11
2.2.2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) .....	11

2.2.2.3 โรงไฟฟ้าดีเซล .....	12
2.2.2.4 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง.....	13
2.2.2.5 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	14
2.2.3 ด้านผู้บริโภค .....	15
2.3 ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกี่ยวกับข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า .....	15
2.3.1 การควบคุมความถี่ไฟฟ้า .....	15
2.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ .....	15
2.4 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	16
2.4.1 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง).....	16
2.4.2 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าดีเซล .....	21
2.4.3 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง.....	21
2.4.4 แบบจำลองของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	22
2.4.5 แบบจำลองของโหลด .....	23
บทที่ 3 ปัญหาความเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	28
3.1 ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	28
3.2 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่ .....	29
3.2.1 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดราย 30 นาที .....	30
3.2.2 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดราย 10 วินาที .....	34
3.2.3 ความละเอียดของความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์.....	39
3.3 ปัญหาค่าความเฉื่อยต่ำของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน พิจารณาจากความเบี่ยงเบนของความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	40
3.3.1 ผลกระทบจากความผันผวนของโหลดต่อความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบ .....	41



3.3.2 ผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อความ เบี่ยงเบนของความถี่ระบบ.....	43
3.3.3 ผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อ ความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบ.....	46
บทที่ 4 ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย .....	49
4.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส .....	49
4.2 การตอบสนองของความเฉื่อย (Inertia response) .....	49
4.3 สมการการแกว่ง (Swing equation) .....	50
4.4 สมการการแกว่งของระบบ (Swing equation aggregated) .....	52
บทที่ 5 การวิเคราะห์ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมกับ ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนด้วยสมการการแกว่งของระบบ .....	55
5.1 การวิเคราะห์ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอ เมืองแม่ฮ่องสอน .....	55
5.1.1 ค่าคงที่ความเฉื่อยที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด.....	56
5.1.2 ค่าคงที่ความเฉื่อยที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงาน แสงอาทิตย์.....	57
5.1.3 ค่าคงที่ความเฉื่อยที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์.....	58
5.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ .....	59
5.2.1 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง).....	59
5.2.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส .....	60
5.2.3 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	61
5.2.3.1 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เมื่อเกิดความผันผวนของ โหลด.....	61
5.2.3.2 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เมื่อเกิดความผันผวนของ กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	62

5.2.3.3 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เมื่อเกิดความผันผวนของ โหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	62
5.3 การวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ .....	63
5.3.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด .....	64
5.3.1.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อมีความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก แม่ สะงา ในกรณีความผันผวนของโหลด.....	64
5.3.1.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด เล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในกรณีความผันผวนของโหลด .....	65
5.3.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่อง ในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนีส ในกรณีความผันผวนของโหลด .....	66
5.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงาน แสงอาทิตย์ .....	67
5.3.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อมีความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก แม่ สะงา ในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	67
5.3.2.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด เล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์.....	68
5.3.2.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่อง ในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนีส ในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์.....	69
5.3.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ .....	70
5.3.3.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อมีความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก แม่ สะงา ในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 70	
5.3.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด เล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์.....	71

5.3.3.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่อง ในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโคโรนัส ในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	72
บทที่ 6 ผลการจำลองการเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของ อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	74
6.1 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลด (กรณี ที่ 1).....	75
6.1.1 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 1.1) .	78
6.1.2 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโคโรนัส (กรณี ที่ 1.2) .....	83
6.1.3 การแก้ไขความถี่ต่ำของระบบด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 1.3) .....	89
6.1.3.1 การเพิ่มความถี่ของระบบจากความถี่เสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ (กรณีที่ 1.3.1).....	89
6.1.3.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ช่วงองค์ประกอบความถี่ สูง (กรณีที่ 1.3.2).....	95
6.1.4 ผลการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง.....	101
6.1.4.1 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในวันที่มีความผัน ผวนของโหลดสูง .....	101
6.1.4.2 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในวันที่ มีความผันผวนของโหลดสูง .....	103
6.1.4.3 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโคโรนัส ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง .....	104
6.1.4.4 พฤติกรรมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในวันที่มีความผันผวน ของโหลดสูง .....	105
6.1.4.5 ความถี่ของระบบ ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง .....	106
6.2 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิต ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีที่ 2).....	108

6.2.1 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 2.1)	111
6.2.2 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนีส (กรณีศึกษาที่ 2.2)	115
6.2.3 การแก้ไขความถี่ต่ำของระบบด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 2.3)	121
6.2.3.1 การเพิ่มความถี่ของระบบจากความถี่เสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 2.3.1)	121
6.2.3.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีศึกษาที่ 2.3.2)	127
6.2.4 ผลการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	133
6.2.4.1 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	133
6.2.4.2 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	135
6.2.4.3 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนีส ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	136
6.2.4.4 พฤติกรรมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	137
6.2.4.5 ความถี่ของระบบ ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	138
6.3 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีศึกษาที่ 3)	141
6.3.1 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.1)	144
6.3.2 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนีส (กรณีศึกษาที่ 3.2)	149
6.3.3 การแก้ไขความถี่ต่ำของระบบด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 3.3)	155

6.3.3.1 การเพิ่มความเฉื่อยของระบบจากความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ (กรณีศึกษา 3.3.1).....	155
6.3.3.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบ ความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีศึกษา 3.3.2).....	161
6.3.4 ผลการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ .....	166
6.3.4.1 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในวันที่มีความผัน ผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	167
6.3.4.2 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในวันที่ มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	168
6.3.4.3 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	170
6.3.4.4 พฤติกรรมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในวันที่มีความผันผวน ของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	171
6.3.4.5 ความถี่ของระบบ ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์.....	171
บทที่ 7 สรุปผล.....	174
7.1 สรุปผลการจำลองระบบ .....	174
7.1.1 ผลของการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวน ของโหลด.....	174
7.1.2 ผลของการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวน ของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	175
7.1.3 ผลของการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวน ของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	176
7.2 บทสรุป.....	177
บรรณานุกรม.....	179



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แหล่งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	10
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา .....	11
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) .....	12
ตารางที่ 2.4 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าติเซล .....	13
ตารางที่ 2.5 สัญญาเช่าของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส .....	17
ตารางที่ 2.6 สัญญาออกของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส .....	17
ตารางที่ 2.7 ตัวแปรที่สำคัญของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ..	19
ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรที่กำหนดของกำลังจริงและกำลังเสมือนสำหรับโหลดแบบพลวัต 24	
ตารางที่ 6.1 ค่าตัวแปรของระบบควบคุมของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ .....	75
ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบผลการจำลองของระบบในกรณีความผันผวนของโหลด .....	175
ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบผลการจำลองของระบบในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	176
ตารางที่ 7.3 เปรียบเทียบผลการจำลองของระบบในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	177

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน .....	7
รูปที่ 2.2 การรับกระแสไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน .....	8
รูปที่ 2.3 ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน เมื่อเกิดความผิดปกติที่ สาย 115 กิโลโวลต์ .....	8
รูปที่ 2.4 พื้นที่การจ่ายไฟฟ้าจังหวัดแม่ฮ่องสอน .....	9
รูปที่ 2.5 ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	10
รูปที่ 2.6 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความผันผวนมากในวันที่ 26 มิถุนายน 2559 .....	13
รูปที่ 2.7 กำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องที่มีความผันผวนมาก ในวันที่ 26 มิถุนายน 2559.....	14
รูปที่ 2.8 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่แบบความเฉื่อยเสมือน .....	14
รูปที่ 2.9 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้าร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	14
รูปที่ 2.10 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	16
รูปที่ 2.11 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส .....	16
รูปที่ 2.12 สัญญาณภายในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	17
รูปที่ 2.13 แบบจำลองระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (AVR) .....	18
รูปที่ 2.14 แบบจำลองระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้า (Governor).....	18
รูปที่ 2.15 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่ของโรงไฟฟ้า.....	18
รูปที่ 2.16 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง .....	22
รูปที่ 2.17 แบบจำลองระบบควบคุมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง.....	22
รูปที่ 2.18 แบบจำลองระบบควบคุมของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	22
รูปที่ 2.19 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่แบบความเฉื่อยเสมือน .....	23



รูปที่ 2.20 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่ช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบ กำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	23
รูปที่ 2.21 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 8 พฤศจิกายน 2561 .....	24
รูปที่ 2.22 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 9 พฤศจิกายน 2561 .....	25
รูปที่ 2.23 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 10 พฤศจิกายน 2561.....	25
รูปที่ 2.24 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561.....	25
รูปที่ 2.25 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 12 พฤศจิกายน 2561.....	25
รูปที่ 2.26 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 13 พฤศจิกายน 2561.....	25
รูปที่ 2.27 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 8 พฤศจิกายน 2561.....	26
รูปที่ 2.28 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 9 พฤศจิกายน 2561.....	26
รูปที่ 2.29 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 10 พฤศจิกายน 2561.....	26
รูปที่ 2.30 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561.....	26
รูปที่ 2.31 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 12 พฤศจิกายน 2561.....	26
รูปที่ 2.32 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 13 พฤศจิกายน 2561.....	27
รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบเมื่อมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้า .....	30
รูปที่ 3.2 การประมาณค่าระหว่างจุดข้อมูลโหลดราย 30 นาที ช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 7200 ของโปรแกรม DigSILENT.....	30
รูปที่ 3.3 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2561.....	31
รูปที่ 3.4 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2561.....	32
รูปที่ 3.5 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2561.....	32
รูปที่ 3.6 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561.....	33

รูปที่ 3.7 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2561.....	33
รูปที่ 3.8 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 13 พฤศจิกายน 2561.....	34
รูปที่ 3.9 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 10 วินาที ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 50....	34
รูปที่ 3.10 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2561.....	35
รูปที่ 3.11 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2561.....	36
รูปที่ 3.12 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2561.....	36
รูปที่ 3.13 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561.....	37
รูปที่ 3.14 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2561.....	37
รูปที่ 3.15 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 13 พฤศจิกายน 2561.....	38
รูปที่ 3.16 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง .....	39
รูปที่ 3.17 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง.....	39
รูปที่ 3.18 ความถี่ของระบบเมื่อมีความผันผวนจากกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง .....	39
รูปที่ 3.19 แบบจำลองของระบบในการพิจารณาผลกระทบจากความผันผวนของไหล .....	40
รูปที่ 3.20 แบบจำลองของระบบในการพิจารณาผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องและผลกระทบจากความผันผวนของไหลและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง.....	41
รูปที่ 3.21 ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 ที่มีความผันผวนสูงสุด .....	41

รูปที่ 3.22 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 ช่วงวินาทีที่ 57280 ถึง 57380.	41
รูปที่ 3.23 ข้อมูลโหลดความผันผวน 0.7 เมกะวัตต์.....	42
รูปที่ 3.24 กำลังกักเก็บไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ .....	42
รูปที่ 3.25 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์.....	42
รูปที่ 3.26 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์.....	43
รูปที่ 3.27 ความถี่ของระบบ เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ .....	43
รูปที่ 3.28 กำลังกักเก็บของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย .....	43
รูปที่ 3.29 ข้อมูลกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ราย 10 วินาที ที่มีความผันผวนสูง.....	44
รูปที่ 3.30 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงวินาทีที่ 42150 ถึง 42250.....	44
รูปที่ 3.31 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความผันผวน 2.2 เมกะวัตต์ .....	44
รูปที่ 3.32 กำลังกักเก็บไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ .....	45
รูปที่ 3.33 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์.....	45
รูปที่ 3.34 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์.....	45
รูปที่ 3.35 ความถี่ของระบบ เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์.....	46
รูปที่ 3.36 ความถี่ของระบบ ในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 .....	46
รูปที่ 3.37 ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์.....	47
รูปที่ 3.38 ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์.....	47

รูปที่ 3.39 ความถี่ของระบบ เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	47
รูปที่ 3.40 กำลังกักเก็บไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	47
รูปที่ 3.41 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	48
รูปที่ 3.42 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	48
รูปที่ 4.1 แบบจำลองพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	49
รูปที่ 6.1 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน .....	74
รูปที่ 6.2 ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ (กรณีที่ 1).....	76
รูปที่ 6.3 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 1) .....	76
รูปที่ 6.4 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 1).....	77
รูปที่ 6.5 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 1) .....	77
รูปที่ 6.6 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 1) .....	78
รูปที่ 6.7 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 1)..	78
รูปที่ 6.8 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 1.1).....	80
รูปที่ 6.9 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 1.1).....	80
รูปที่ 6.10 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 1.1).....	81

รูปที่ 6.11 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 1.1).....	81
รูปที่ 6.12 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.1).....	82
รูปที่ 6.13 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 1.1).....	82
รูปที่ 6.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีศึกษาที่ 1.1).....	82
รูปที่ 6.15 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	84
รูปที่ 6.16 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	85
รูปที่ 6.17 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	85
รูปที่ 6.18 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าตีสลึงที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	86
รูปที่ 6.19 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าตีสลึงที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	86
รูปที่ 6.20 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	87
รูปที่ 6.21 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	87
รูปที่ 6.22 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าตีสลึงที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	88
รูปที่ 6.23 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	88
รูปที่ 6.24 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	88



รูปที่ 6.40 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 1.3.2) .....	98
รูปที่ 6.41 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	98
รูปที่ 6.42 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	99
รูปที่ 6.43 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	99
รูปที่ 6.44 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	100
รูปที่ 6.45 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	100
รูปที่ 6.46 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1).....	102
รูปที่ 6.47 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.1).....	102
รูปที่ 6.48 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	102
รูปที่ 6.49 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.1).....	102
รูปที่ 6.50 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	102
รูปที่ 6.51 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.1) .....	103
รูปที่ 6.52 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.2) .....	103
รูปที่ 6.53 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.1).....	103
รูปที่ 6.54 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.2).....	104
รูปที่ 6.55 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.2).....	104

รูปที่ 6.56 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 1.3.1).....	104
รูปที่ 6.57 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 1.3.2).....	105
รูปที่ 6.58 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.1).....	105
รูปที่ 6.59 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.2).....	105
รูปที่ 6.60 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1).....	106
รูปที่ 6.61 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.1).....	106
รูปที่ 6.62 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.2).....	107
รูปที่ 6.63 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.1).....	107
รูปที่ 6.64 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.2).....	107
รูปที่ 6.65 ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง 2.2 เมกะวัตต์ (กรณี ที่ 2).....	108
รูปที่ 6.66 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2).....	109
รูปที่ 6.67 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2).....	109
รูปที่ 6.68 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2).....	110
รูปที่ 6.69 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 2).....	110
รูปที่ 6.70 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 2) .....	110
รูปที่ 6.71 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2.1).....	112
รูปที่ 6.72 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2.1).....	112



รูปที่ 6.73 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 2.1) .....	113
รูปที่ 6.74 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 2.1) .....	113
รูปที่ 6.75 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 2.1) .....	114
รูปที่ 6.76 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 2.1) .....	114
รูปที่ 6.77 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีศึกษาที่ 2.1) .....	114
รูปที่ 6.78 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	116
รูปที่ 6.79 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	116
รูปที่ 6.80 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	117
รูปที่ 6.81 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	117
รูปที่ 6.82 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	118
รูปที่ 6.83 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	118
รูปที่ 6.84 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	119
รูปที่ 6.85 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	119
รูปที่ 6.86 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	120

รูปที่ 6.87 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 2.2)	120
รูปที่ 6.88 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2.3.1)	122
รูปที่ 6.89 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2.3.1)	122
รูปที่ 6.90 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.3.1)	123
รูปที่ 6.91 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีที่ 2.3.1)	123
รูปที่ 6.92 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 2.3.1)	124
รูปที่ 6.93 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2.3.1)	124
รูปที่ 6.94 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.3.1)	125
รูปที่ 6.95 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีที่ 2.3.1)	125
รูปที่ 6.96 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 2.3.1)	126
รูปที่ 6.97 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 2.3.1)	126
รูปที่ 6.98 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2.3.2)	128
รูปที่ 6.99 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2.3.2)	128
รูปที่ 6.100 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.3.2)	129

รูปที่ 6.101 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 2.3.2) .....	129
รูปที่ 6.102 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 2.3.2) .....	130
รูปที่ 6.103 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 2.3.2).....	130
รูปที่ 6.104 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 2.3.2).....	131
รูปที่ 6.105 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 2.3.2).....	131
รูปที่ 6.106 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 2.3.2).....	132
รูปที่ 6.107 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 2.3.2).....	132
รูปที่ 6.108 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2).....	134
รูปที่ 6.109 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.1) .....	134
รูปที่ 6.110 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.2) .....	134
รูปที่ 6.111 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.3.1) .....	134
รูปที่ 6.112 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.3.2) .....	135
รูปที่ 6.113 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.1).....	135
รูปที่ 6.114 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.2).....	136
รูปที่ 6.115 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.3.1).....	136
รูปที่ 6.116 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 2.3.2).....	136

รูปที่ 6.117 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณี 2.2) .....	137
รูปที่ 6.118 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.1) .....	137
รูปที่ 6.119 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.2) .....	137
รูปที่ 6.120 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.1) .....	138
รูปที่ 6.121 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.2) .....	138
รูปที่ 6.122 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2) .....	139
รูปที่ 6.123 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.1) .....	139
รูปที่ 6.124 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.2) .....	140
รูปที่ 6.125 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.1) .....	140
รูปที่ 6.126 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.2) .....	141
รูปที่ 6.127 ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ (กรณี 3) .....	142
รูปที่ 6.128 ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง 2.2 เมกะวัตต์ (กรณี 3) .....	142
รูปที่ 6.129 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 3) .....	142
รูปที่ 6.130 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 3) .....	143
รูปที่ 6.131 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณี 3) .....	143
รูปที่ 6.132 ความถี่ของระบบ (กรณี 3) .....	144
รูปที่ 6.133 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณี 3) .....	144

รูปที่ 6.134 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	145
รูปที่ 6.135 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	146
รูปที่ 6.136 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.1) .....	146
รูปที่ 6.137 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	147
รูปที่ 6.138 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.1) .....	147
รูปที่ 6.139 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	148
รูปที่ 6.140 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	148
รูปที่ 6.141 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	150
รูปที่ 6.142 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	150
รูปที่ 6.143 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.2) .....	151
รูปที่ 6.144 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าตีสลึงที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	151
รูปที่ 6.145 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าตีสลึงที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	152
รูปที่ 6.146 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	152
รูปที่ 6.147 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.2) .....	153

รูปที่ 6.148 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	153
รูปที่ 6.149 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	154
รูปที่ 6.150 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	154
รูปที่ 6.151 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	156
รูปที่ 6.152 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	156
รูปที่ 6.153 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	157
รูปที่ 6.154 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	157
รูปที่ 6.155 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	158
รูปที่ 6.156 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	158
รูปที่ 6.157 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	159
รูปที่ 6.158 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	159
รูปที่ 6.159 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	160
รูปที่ 6.160 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	160
รูปที่ 6.161 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	162
รูปที่ 6.162 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	162

รูปที่ 6.163 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	163
รูปที่ 6.164 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าติเชลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	163
รูปที่ 6.165 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าติเชลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	164
รูปที่ 6.166 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	164
รูปที่ 6.167 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	165
รูปที่ 6.168 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าติเชลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	165
รูปที่ 6.169 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	166
รูปที่ 6.170 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	166
รูปที่ 6.171 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3).....	167
รูปที่ 6.172 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	168
รูปที่ 6.173 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	168
รูปที่ 6.174 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	168
รูปที่ 6.175 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.3.2).....	168
รูปที่ 6.176 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.1).....	169
รูปที่ 6.177 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.2).....	169
รูปที่ 6.178 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.3.1).....	169

รูปที่ 6.179 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณี  
3.3.2)..... 169

รูปที่ 6.180 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง  
(กรณี 3.2) ..... 170

รูปที่ 6.181 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง  
(กรณี 3.3.1) ..... 170

รูปที่ 6.182 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง  
(กรณี 3.3.2) ..... 170

รูปที่ 6.183 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณี 3.3.1) ... 171

รูปที่ 6.184 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณี 3.3.2) ... 171

รูปที่ 6.185 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 3)..... 172

รูปที่ 6.186 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 3.1)..... 172

รูปที่ 6.187 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 3.2)..... 173

รูปที่ 6.188 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 3.3.1)..... 173

รูปที่ 6.189 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 3.3.2)..... 173



# บทที่ 1

## บทนำ

บทนี้จะกล่าวเกี่ยวกับที่มาและความสำคัญของปัญหาในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีความเชื่อถือต่ำ งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ระบบไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอนรับกระแสไฟฟ้ามาจากสายส่ง 115 กิโลโวลต์ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เพียงเส้นทางเดียว ซึ่งเส้นทางที่ต้องตัดผ่านระหว่างจังหวัดเชียงใหม่และแม่ฮ่องสอนมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ มีภูเขาสลับซับซ้อนกันจำนวนมาก เมื่อเกิดความผิดปกติต่อสายส่ง 115 กิโลโวลต์ จะส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับภายในจังหวัดแม่ฮ่องสอนและค่อนข้างยากในการเข้าไปซ่อมแซมพื้นที่เกิดเหตุ

จากปัญหาความยากลำบากในการเข้าถึงพื้นที่ในการแก้ไขปัญหาของสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ทำให้หน่วยงานที่รับผิดชอบเกิดแนวคิดที่จะลดการพึ่งพาการใช้กำลังไฟฟ้าจากสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) [1] เพื่อต้องการให้ภายในจังหวัดแม่ฮ่องสอนสามารถดูแลระบบไฟฟ้ากันเองได้หรือที่เรียกอีกอย่างว่า “ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid)” นอกจากนี้ยังมีนโยบายที่ส่งเสริมให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นจังหวัดสีเขียว ด้วยการหันมาเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันกำลังนิยมและแพร่หลายในประเทศไทย เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานลม โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น แต่พลังงานหมุนเวียนนี้ ไม่มีมวลหมุนเหมือนอย่างโรงไฟฟ้าแบบเดิมทำให้มีความเชื่อเป็นศูนย์

ด้วยเหตุปัญหาจากสายส่ง 115 กิโลโวลต์ จึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนให้มีลักษณะเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถดูแลกันเองได้ แต่การที่ระบบไฟฟ้ากลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กมีผลกระทบตามมา คือ การที่ความถี่ในระบบจะต่ำเมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่มีความถี่สูง เนื่องจากระบบของ 115 กิโลโวลต์ เป็นระบบใหญ่หรือเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่มีจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเป็นจำนวนมาก เมื่อกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่ภายในพื้นที่มีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งพลังงานหลักที่มีค่าคงที่ความถี่อยู่ที่ 0.57 วินาทีต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส เมื่อเกิดการรบกวน (Disturbance) ขึ้น ช่วงเวลาการตอบสนองต่อความถี่จะยิ่งรวดเร็วและความถี่เบี่ยงเบนจะมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้น เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด  $50 \pm 0.5$  เฮิร์ตซ์ [2]

แหล่งผลิตไฟฟ้าที่สำคัญภายในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรงไฟฟ้า ขนาดรวม 10.4 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง ขนาด 0.5 เมกะวัตต์ อนาคตจะขยายขนาดเป็น 3.5 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ขนาด 0.85 เมกะวัตต์ อนาคตจะขยายขนาดเป็น 3.85 เมกะวัตต์ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System: BESS) ขนาด 4 เมกะวัตต์/เมกะวัตต์-ชั่วโมง และโรงไฟฟ้าดีเซล จำนวน 6 โรงไฟฟ้า ขนาดรวม 5.4 เมกะวัตต์ และเมื่อเชื่อมต่อกับสายส่ง 115 กิโลโวลต์ มีค่าโหลดรวมสูงสุดประมาณ 11 เมกะวัตต์

เมื่อระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อยต่ำ มีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักคือโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา หากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าร่วมด้วยย่อมมีปัญหาหรือผลกระทบตามมาอย่างแน่นอน ประการที่สำคัญคือ เมื่อเกิดการรบกวน ความถี่ของระบบจะเกิดการเบี่ยงเบนเกินช่วงที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งสาเหตุของปัญหาในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนยังไม่เป็นที่กล่าวถึงอย่างละเอียด จึงเป็นที่มาในการค้นหาคำตอบของสาเหตุและปัจจัยในการเกิดปัญหาของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีความเฉื่อยต่ำ โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากความผันผวนของข้อมูลต่าง ๆ ภายในพื้นที่ ได้แก่ โหลด กำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลโหลดนี้ มีปัจจัยย่อยอีกที่น่าสนใจ คือ ความละเอียดของข้อมูลตรวจวัดจาก SCADA โดยทั่วไปข้อมูลตรวจวัดโหลดเป็นค่าเฉลี่ยราย 30 นาที หากข้อมูลมีความละเอียดเป็นรายวินาที จะส่งผลกระทบแตกต่างกันหรือไม่ รวมถึงการพิจารณาเกี่ยวกับความเฉื่อยที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ซึ่งยังไม่มีมีการกล่าวถึงอีกเช่นกัน

ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งมีเป้าหมายที่จะวิเคราะห์ปัญหาภายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีค่าความเฉื่อยต่ำ ในด้านผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อความถี่ของระบบ และชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่ รวมถึงแนวคิดการใช้สมการการแกว่งของระบบในการพิจารณาหาค่าความเฉื่อยที่เหมาะสมต่อระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนในกรณีที่ต้องการควบคุมให้คุณภาพความถี่อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนด สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาค่าความเฉื่อยต่ำที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้แนวทางการประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ภายในพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำมาแก้ไขปัญหา เช่น การใช้ความเฉื่อยเพิ่มเติมที่ได้มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) การปรับปรุงโรงไฟฟ้าดีเซลให้เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส (Synchronous condenser) หรือการใช้ระบบกักเก็บพลังงานด้วย

แบตเตอรี่ ตามลำดับ เพื่อให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด วิธีการที่เสนอนี้จะช่วยให้เราสามารถใช้แหล่งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ให้มีประโยชน์สูงสุด

## 1.2 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

### 1.2.1 ปัญหาในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อยต่ำ

การที่ระบบไฟฟ้ามีความเฉื่อยต่ำ ในงานวิจัยที่ [3] มีการวิเคราะห์ปัญหาไว้ว่าความเฉื่อยของระบบไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องกำเนิดซึ่งโครนัสที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบ เมื่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือโหลดเกิดการเปลี่ยนแปลง การตอบสนองแรกคือช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยหรือการถ่ายโอนพลังงานจลน์สะสมให้กับระบบ หากระบบไฟฟ้ามีความเฉื่อยต่ำส่งผลให้การตอบสนองต่อความถี่ของระบบเร็วขึ้น แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงโหลดน้อย ความถี่เบี่ยงเบนก็จะมีค่ามากกว่าการที่ระบบไฟฟ้ามีความเฉื่อยสูงและโหลดมีการเปลี่ยนแปลงมากซึ่งเปรียบได้กับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อยต่ำ

การเพิ่มขึ้นของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก งานวิจัยที่ [4] กล่าวไว้ว่าการเพิ่มขึ้นดังกล่าวช่วยลดปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้ารูปแบบเดิม แต่ส่งผลทำให้เกิดการขาดดุลของการควบคุมกำลัง-ความถี่ ในระบบและการขาดความเฉื่อยจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งโครนัสทำให้ระบบมีความเฉื่อยต่ำ ปัญหาดังกล่าวยังมีส่วนทำให้เกิดความถี่ตกและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่สูง ซึ่งพาไปสู่ความจำเป็นในการปลดโหลดหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ

อีกหนึ่งปัจจัยของความเฉื่อยที่ต่ำในระบบ งานวิจัยที่ [5] ไม่ได้มาจากจำนวนเครื่องแปลงผัน (Converter) ในระบบ แต่มาจากการที่เครื่องแปลงผันไปแทนที่โรงไฟฟ้าแบบเดิมทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสในระบบลดลงเป็นผลทำให้ความเฉื่อยลดลง การที่ระบบมีความเฉื่อยต่ำจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของความถี่และการต้านความไม่สมดุลระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากับโหลดลดลง ทำให้ระบบอ่อนไหวง่ายเมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ หากไม่มีการหยุดความถี่เบี่ยงเบนพลังงานจลน์สะสมจะค่อย ๆ หดไป ส่งผลให้ระบบต้องปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือโหลด แต่ไม่มีผลโดยตรงกับแรงดัน

งานวิจัยที่ [6] ได้ทำการศึกษาระบบไฟฟ้าขนาดเล็กในจังหวัดโอกินาวะ ประเทศญี่ปุ่น ได้ระบุว่า ความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กส่งผลกระทบต่อความถี่เบี่ยงเบนไปจากปกติ โดยความผันผวนของโหลดมีผลกระทบต่อความถี่มากกว่าความผันผวนที่มาจากกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้งานวิจัยที่ [7] ได้ระบุเพิ่มเติมว่า ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อยต่ำจะอ่อนไหวต่อความผันผวนของกำลังผลิตจากพลังงานหมุนเวียนได้ง่าย ส่งผลให้คุณภาพไฟฟ้าลดลง ยิ่งไปกว่านั้นการที่ระบบไฟฟ้ามีเพียงการตอบสนองปฐมภูมิในการควบคุมความถี่จะไม่สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของความผันผวนได้ทันทำให้เกิดความถี่เบี่ยงเบน

ในอดีตที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ [8] ได้กล่าวเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน เมื่อระบบไฟฟ้าทำงานในรูปแบบระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าคือโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องพบว่าระบบจะไม่สามารถรักษาเสถียรภาพได้และพบปัญหาเกี่ยวกับแรงดันและความถี่ของระบบอันเนื่องมาจากความผันผวนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และโหลด โดยที่ข้อมูลความผันผวนของโหลดในงานวิจัยนี้มีความละเอียดราย 30 นาที รวมถึงการที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงามีความเฉื่อยต่ำ ทำให้ไม่สามารถตอบสนองต่อความผันผวนได้ทัน

### 1.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

แนวทางการแก้ไขปัญหาคความเฉื่อยต่ำในระบบ งานวิจัยที่ [3] เสนอการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือการทำโรงไฟฟ้าให้มีการทำงานในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสเป็นวิธีแก้ไขปัญหานั้นเช่นกัน และง่าย ซึ่งโรงไฟฟ้าแต่ละรูปแบบจะมีค่าคงที่ความเฉื่อยที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงไฟฟ้า รวมถึงโรงไฟฟ้าที่มีการตอบสนองปฏิกิริยาที่ช่วยลดความถี่ที่เบี่ยงเบนเพิ่มเติมจากพลังงานจลน์สะสมด้วยและอีกหนึ่งวิธีคือความเฉื่อยเสมือน (Virtual inertia / Synthetic inertia) คือการใช้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มหรือลดกำลังให้กับระบบในช่วงที่ความถี่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถทำงานได้รวดเร็วและสามารถลดความถี่เบี่ยงเบนลงได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีค่าเชื้อเพลิงต่ำและไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมา

งานวิจัยที่ [4] เสนอแนวทางการเพิ่มความเฉื่อยในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีแหล่งพลังงานหมุนเวียนจำนวนมากด้วยการปรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเก่าในพื้นที่ให้ทำงานในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสและสามารถทำงานเชื่อมต่อกับล้อยก้นที่บริเวณแกนหมุน ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ช่วยรักษาแรงดันไม่ให้แรงดันตก

ซึ่งงานวิจัยที่ [5] ได้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการใช้ความเฉื่อยเสมือนและโรงไฟฟ้าเหมือนอย่างงานวิจัยที่ [3] และให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าความเฉื่อยเสมือนไม่ได้มาจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียวยังมาจากล้อยก้นได้อีกด้วย นอกจากนี้ การที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีมวลหมุนทำให้ไม่มีพลังงานจลน์สะสม จึงเสนอแนวทางการลดโหลดโดยปรับจุดสูงสุดของกำลังเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum Power Point Tracking, MPPT) และวิธีการควบคุมความถี่ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแนวทางนี้หากมองในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้วจะดีกว่าการใช้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ยิ่งไปกว่านั้นการมีโรงไฟฟ้าเพิ่มจะส่งผลดีต่อระบบในการมีความเฉื่อยของระบบมากขึ้นและมีระบบควบคุมความเร็วของกังหันที่จะมีการปรับเพิ่มลดสัดส่วนกำลังการผลิต ซึ่งจะเกิดคาบเกี่ยวกับการตอบสนองของความเฉื่อย โดยมีช่วงเวลาหน่วงการทำงานเป็นขั้น ขั้นแรกคือการตอบสนองปฏิกิริยา ความถี่จะถูกปรับให้มีเสถียรภาพ แต่จะไม่ใช้ความถี่ปกติจะ

ยังคงมีความถี่เบี่ยงเบนอยู่ จึงต้องทำการปรับลดความถี่เบี่ยงเบนลงให้กลับสู่ความถี่ปกติ เรียกขั้นตอนนี้ว่า การตอบสนองทุติยภูมิ

นอกจากนี้แนวทางการแก้ไขปัญหาในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเฉื่อยต่ำจากงานวิจัยที่ [6, 7] เสนอการใช้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดชนิดลิเทียมไอออน (Lithium ion capacitor) ที่มีการตอบสนองที่รวดเร็วเพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลให้ความถี่เบี่ยงเบนลดลง ซึ่งขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการลดความผันผวนจากโหลดจะมีขนาดใหญ่

งานวิจัยที่ [8] ได้เสนอแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยใช้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ทำงานร่วมกันกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาทำให้แรงดันและความถี่กลับมาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวไม่มีการกล่าวถึงความเฉื่อยอย่างละเอียด

### 1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

ศึกษาปัญหาค่าความเฉื่อยต่ำของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอแม่ฮ่องสอน โดยพิจารณาจากความเบี่ยงเบนของความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และนำเสนอแนวทางการแก้ไขโดยใช้ความเฉื่อยเพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าในพื้นที่ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาปัญหาค่าความเฉื่อยต่ำของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอแม่ฮ่องสอน โดยพิจารณาจากความเบี่ยงเบนของความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2. นำเสนอแนวทางการแก้ไขโดยใช้ความเฉื่อยเพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าในพื้นที่ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

โดยจะใช้ข้อมูลโหลดและกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาบ่งในพื้นที่อำเภอแม่ฮ่องสอน ที่มีความละเอียดราย 10 วินาที และข้อมูลโครงข่ายระบบไฟฟ้าของอำเภอแม่ฮ่องสอน ในการวิจัยด้วยโปรแกรม DIGSILENT ทั้งนี้ในงานวิทยานิพนธ์จะยังไม่พิจารณาถึงการทำงานของระบบป้องกันรวมทั้งพฤติกรรมของระบบในสภาวะชั่วคราว

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. ความละเอียดของข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน
2. ปัญหาความเป็ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน
3. ค่าความถี่ที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน
4. การประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่มีในพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในการเพิ่มความถี่ให้กับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน



## บทที่ 2

### ข้อมูลทั่วไปและแบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

สำหรับเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลและแบบจำลองด้านระบบไฟฟ้า ความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลด โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา และแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนีส โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งเนื้อหาส่วนใหญ่จะเน้นไปที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นส่วนสำคัญเพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบและระบบที่สำคัญในแบบจำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT

#### 2.1 สภาพภูมิประเทศของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

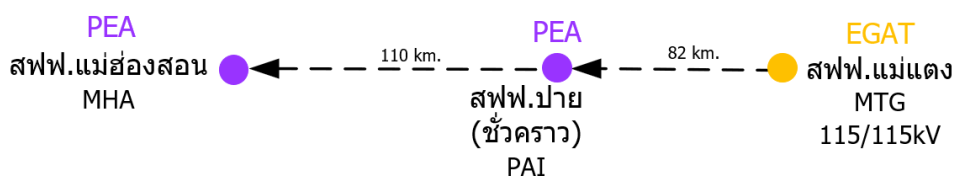
จังหวัดแม่ฮ่องสอนตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มีเขตแดนติดต่อกับประเทศเมียนมา (พม่า) จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดตาก ดังรูปที่ 2.1 มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 12,680 ตารางกิโลเมตร แบ่งออกเป็นทั้งหมด 7 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน อำเภอปาย อำเภอปางมะผ้า อำเภอขุนยวม อำเภอแม่ลาน้อย อำเภอแม่สะเรียงและอำเภอสบเมย โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 11,105 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 87.57 มีภูเขาสูงสลับซับซ้อนและต้นไม้สูงใหญ่เป็นจำนวนมาก ทำให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนเปรียบเสมือนเมืองปิดที่ยากต่อการติดต่อต่าง ๆ



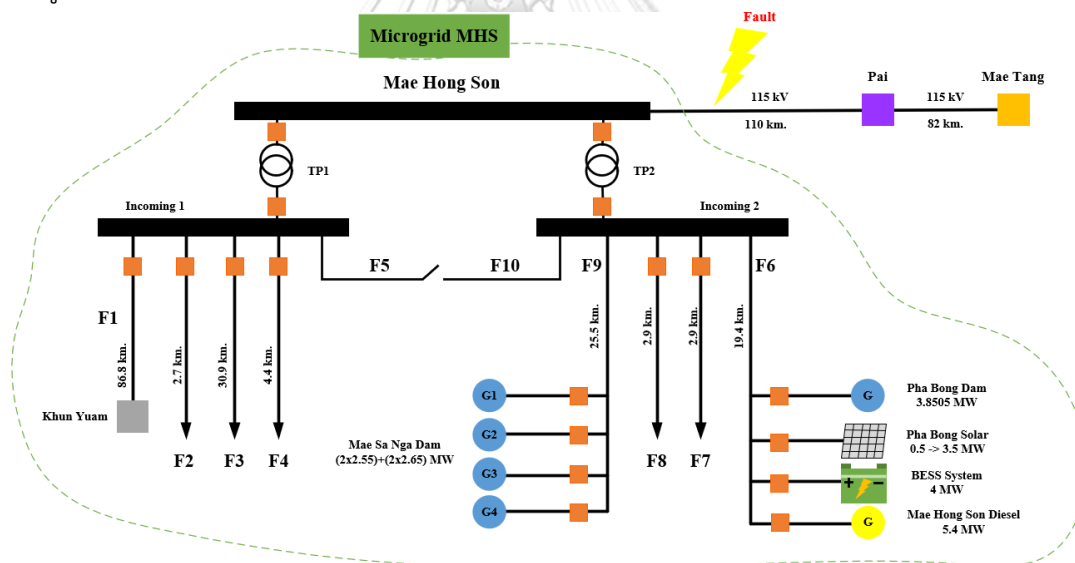
รูปที่ 2.1 แผนที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน

## 2.2 ข้อมูลด้านระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอนรับกระแสไฟฟ้ามาจากสายส่งแรงสูง 115 กิโลโวลต์ จากสถานีไฟฟ้า อำเภอมะแมง จังหวัดเชียงใหม่ เพียงเส้นทางเดียว ดังรูปที่ 2.2 มีระยะประมาณ 192 กิโลเมตร [9] ซึ่งต้องผ่านภูเขาสูงและต้นไม้เป็นจำนวนมาก เมื่อเกิดปัญหาขัดข้องบริเวณสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่ส่งมาจากจังหวัดเชียงใหม่จะส่งผลทำให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนไม่มีไฟฟ้าใช้ทั้งจังหวัด ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าภายในจังหวัด ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดที่จะทำให้อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีระบบไฟฟ้าแบบระบบ ไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอโดยไม่ต้องพึ่งพาระบบ 115 กิโลโวลต์ ที่มาจากสถานี ไฟฟ้า อำเภอมะแมง จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 2.2 การรับกระแสไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 2.3 ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน เมื่อเกิดความผิดปกติที่สาย 115 กิโลโวลต์

ระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีทั้งหมด 10 สายป้อน มีรายละเอียดดังนี้

- |              |   |
|--------------|---|
| สายป้อนที่ 1 | โหลตประเภทถนนเลี้ยงเมืองฝั่งตะวันออก หมู่บ้านและพระตำหนัก   |
| สายป้อนที่ 2 | โหลตประเภทเรือนจำ สถานีโทรทัศน์และถนนเลี้ยงเมืองฝั่งตะวันตก |
| สายป้อนที่ 3 | จ่ายโหลตไปยังอำเภอปางมะผ้า                                  |



สายป้อนที่ 4	โหลตประเภทสถานีขนส่งและโรงแรม
สายป้อนที่ 6	โหลตประเภทที่อยู่อาศัยและรับไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และโรงไฟฟ้าดีเซล
สายป้อนที่ 7	โหลตประเภทที่ว่าการอำเภอแม่ฮ่องสอนและที่อยู่อาศัย
สายป้อนที่ 8	โหลตประเภทโรงพยาบาลและสนามบิน
สายป้อนที่ 9	รับไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา
สายป้อนที่ 5 และ 10	เป็น Tie line ของระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่เชื่อมโยงอยู่ระหว่างสายป้อน Incoming 01และ02

ด้านระบบไฟฟ้าของจังหวัดแม่ฮ่องสอน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ด้านผู้ผลิต (Supply side) ด้านการปฏิบัติการ (Operation side) ด้านผู้บริโภค (Demand side) โดยในด้านการปฏิบัติการจะอธิบายเกี่ยวกับภาพรวมของทั้งจังหวัดแม่ฮ่องสอน ส่วนด้านผู้ผลิตและผู้บริโภคจะเน้นรายละเอียดในส่วนของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ด้านการปฏิบัติการ

จังหวัดแม่ฮ่องสอนแบ่งพื้นที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าออกเป็น 3 พื้นที่ ดังรูปที่ 2.4 สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะเน้นไปที่พื้นที่การจ่ายไฟที่ 2 (อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน) ซึ่งแต่ละพื้นที่การจ่ายไฟประกอบไปด้วยแต่ละอำเภอดังนี้

พื้นที่การจ่ายไฟ 1 ประกอบด้วย อำเภอปาย และ อำเภอปางมะผ้า

พื้นที่การจ่ายไฟ 2 ประกอบด้วย อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

พื้นที่การจ่ายไฟ 3 ประกอบด้วย อำเภอขุนยวม อำเภอแม่ลาน้อย อำเภอแม่สะเรียงและ อำเภอสบเมย



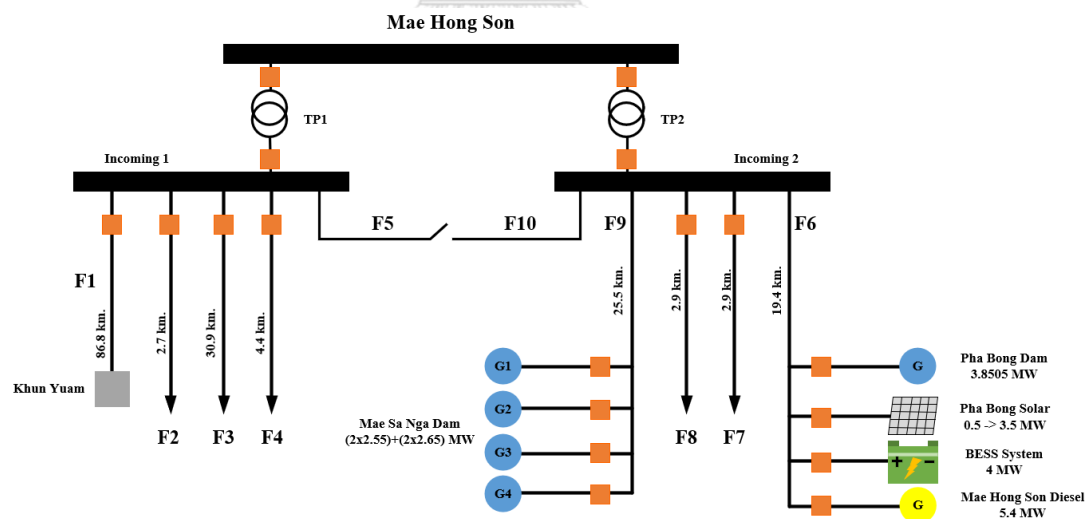
รูปที่ 2.4 พื้นที่การจ่ายไฟฟ้าจังหวัดแม่ฮ่องสอน

## 2.2.2 ด้านผู้ผลิต

ส่วนของผู้ผลิตในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน (พื้นที่การจ่ายไฟที่ 2) ส่วนใหญ่จะอยู่ในความดูแลรับผิดชอบของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) โดยแหล่งผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานหมุนเวียน ดังตารางที่ 2.1 และมีรายละเอียดของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แหล่งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

แหล่งผลิตไฟฟ้า	กำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์)	ในอนาคต (เมกะวัตต์)	จำนวน	รับผิดชอบ โดย
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา	2.55	-	2	พพ.
	2.65	-	2	
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.85	3.85	1	กฟผ.
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง	0.50	3.5	1	
โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน	1.00	-	3	กฟผ.
	0.80	-	3	



รูปที่ 2.5 ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

### 2.2.2.1 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ติดตั้งบริเวณสายป้อนที่ 9 ดังรูปที่ 2.5 จำนวน 4 โรงไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลของโรงที่ 1 และ 2 มีกำลังผลิตติดตั้งโรงละ 2.55 เมกะวัตต์ ส่วนโรงที่ 3 และ 4 มีกำลังผลิตติดตั้งโรงละ 2.65 เมกะวัตต์ ปัจจุบันเดินเครื่องทั้งหมด 3 โรงไฟฟ้า อีกหนึ่งเป็นโรงไฟฟ้าสำรอง แต่สำหรับการศึกษาระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนในงานวิทยานิพนธ์นี้ทำการเดินเครื่องทั้งหมด 4 โรงไฟฟ้า ซึ่งมีกำลังผลิตรวม 10.4 เมกะวัตต์ โดยรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ อ้างอิงจาก [8, 10] ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา

ข้อมูลรายละเอียด	โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา	
	โรงที่ 1 และ 2	โรงที่ 3 และ 4
Rated apparent power of generator (MVA)	3.375	3.3125
Rated apparent power of turbine (MW)	2.55	2.65
Power factor	0.85 lag	0.80 lag
Rated voltage (kV)	3.3	
Inertia constant (s)	0.57	

### 2.2.2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นโครงการพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กโครงการแรกของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และของประเทศไทย [9] โดยตั้งอยู่ที่ ตำบลผาบ่อง อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณสายป้อนที่ 6 ดังรูปที่ 2.5 ปัจจุบันมีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 0.85 เมกะวัตต์ ในอนาคตจะมีการขยายขนาดเป็น 3.85 เมกะวัตต์ เบื้องต้นยังไม่มีข้อมูลการทดสอบโรงไฟฟ้าที่แน่ชัด ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้จึงอ้างอิงข้อมูลเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาที่มีขนาดใกล้เคียงกันในการวิเคราะห์และจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

ข้อมูล	โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	หมายเหตุ
Rated apparent power of generator (MVA)	4.53	-
Rated apparent power of turbine (MW)	3.85	ขนาดในอนาคต
Power factor	0.85 lag	-
Rated voltage (kV)	3.3	
Inertia constant (s)	0.57	

### 2.2.2.3 โรงไฟฟ้าดีเซล

โรงไฟฟ้าดีเซลตั้งอยู่ที่ตำบลผาบ่อง อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณสายป้อนที่ 6 ดังรูปที่ 2.5 มีกำลังผลิตติดตั้ง 1 เมกะวัตต์ จำนวน 3 โรง และ 0.8 เมกะวัตต์ จำนวน 3 โรง มีกำลังผลิตติดตั้งรวม 5.4 เมกะวัตต์ ดังตารางที่ 2.4 ปัจจุบันโรงไฟฟ้าดีเซลไม่ค่อยมีการใช้งานมากนัก เนื่องจากเรื่องปัญหาด้านต้นทุนของเชื้อเพลิง การขนส่ง รวมถึงในยุคปัจจุบันที่ต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงโรงไฟฟ้าดีเซลดังกล่าวให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการเดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส (Synchronous condenser) ที่จะช่วยในเรื่องของการรักษาแรงดันของระบบและเมื่อเกิดปัญหาการลัดวงจรของระบบ รวมถึงการเดินเครื่องในโหมดนี้ยังส่งผลทำให้ระบบมีความเฉื่อยเพิ่มขึ้นได้จากมวลหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส แต่เบื้องต้นยังไม่มีข้อมูลทดสอบของโรงไฟฟ้าดีเซล ดังนั้นข้อมูลรายละเอียดพารามิเตอร์จึงอ้างอิงเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา รวมถึงในการเดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะไม่มีระบบควบคุมกังหัน (Governor) มีเพียงระบบควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (AVR) ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้จะอ้างอิงกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา เช่นเดียวกัน

โดยทั่วไป โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส จะมีค่าคงที่ความเฉื่อยประมาณ 1 วินาที ซึ่งงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพบว่าค่าคงที่ความเฉื่อยของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสสามารถเพิ่มให้สูงมากขึ้นได้ โดยการเพิ่มมวลหมุนหรือล๊อกกังหันให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ทำให้ค่าคงที่ความเฉื่อยเพิ่มขึ้นจาก 1 วินาที เป็น 8 วินาที ได้ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 8 วินาที

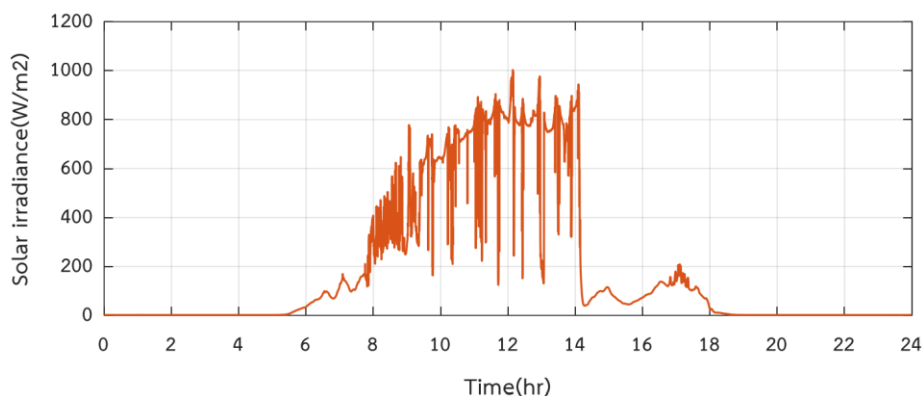
ตารางที่ 2.4 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าดีเซล

ข้อมูล	โรงไฟฟ้าดีเซล		หมายเหตุ
	โรงที่ 1 - 3	โรงที่ 4 - 6	
Rated apparent power of generator (MVA)	1.25	1	
Power factor	0.8 lag		
Rated voltage (kV)	3.3		
Inertia constant (s)	8		เพิ่มขึ้นโดยติดตั้งล้อยกกัน

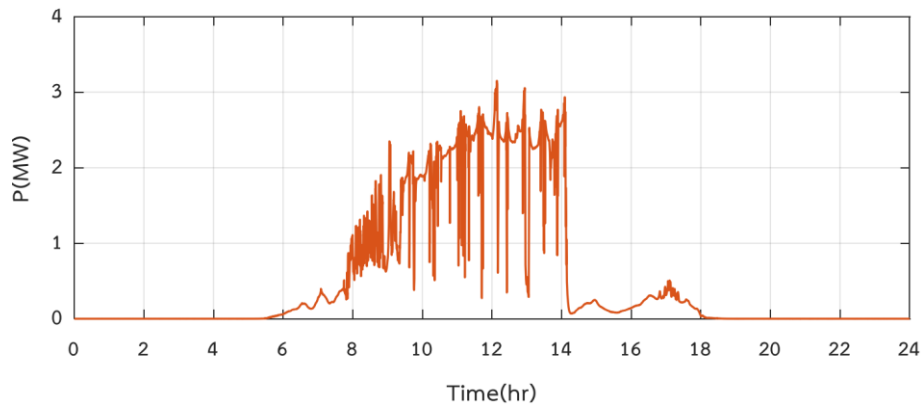
#### 2.2.2.4 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องตั้งอยู่ที่ตำบลผาบ่อง อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณสายป้อนที่ 6 ดังรูปที่ 2.5 สายป้อนเดียวกันกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 500 กิโลวัตต์ ในอนาคตจะมีการขยายขนาดเป็น 3.5 เมกะวัตต์ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจะช่วยทำให้กำลังผลิตในระบบมีมากขึ้น แต่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการผลิตกำลังไฟฟ้าจึงไม่มีมวลหมุนเหมือนอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส ซึ่งไม่มีพลังงานจลน์สะสมที่จะช่วยชดเชยกำลังไฟฟ้าหรือกล่าวได้ว่า โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องไม่มีความเฉื่อย

ในปี พ.ศ. 2559 มีการตรวจวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องราย 10 วินาที จำนวน 42 วัน [8] พบว่าข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีความผันผวนราย 10 วินาทีสูงสุดในวันที่ 26 มิถุนายน 2559 ดังรูปที่ 2.6 หรือกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องที่มีความผันผวนสูงสุด ดังรูปที่ 2.7 โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องขยายขนาดเป็น 3.5 เมกะวัตต์



รูปที่ 2.6 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความผันผวนมากในวันที่ 26 มิถุนายน 2559



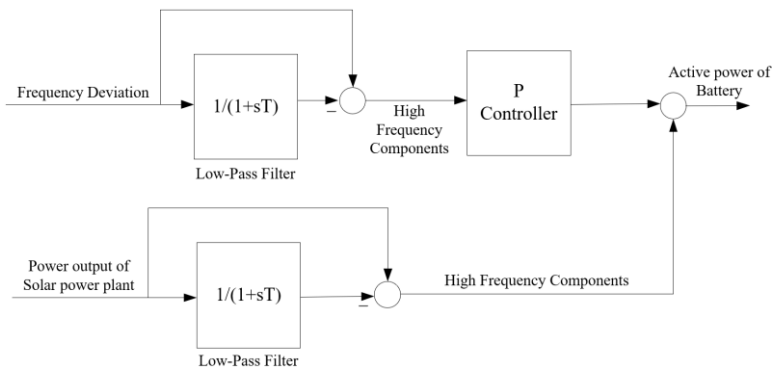
รูปที่ 2.7 กำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องที่มีความผันผวนมาก  
ในวันที่ 26 มิถุนายน 2559

#### 2.2.2.5 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

ในอนาคตมีโครงการที่จะทำการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 4 เมกะวัตต์ บริเวณตำบลผาบ่อง อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณสายป้อนที่ 6 ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาใช้เพื่อช่วยรักษาความถี่ของระบบ โดยระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะมี 2 รูปแบบคือระบบควบคุมความถี่แบบความเฉื่อยเสมือน (Virtual inertia) ดังรูปที่ 2.8 และระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้า (Frequency regulation) ร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Power Smoothing Control)



รูปที่ 2.8 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่แบบความเฉื่อยเสมือน



รูปที่ 2.9 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้าร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของ  
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รูปแบบของระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้าร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตไฟฟ้าเป็นการควบคุมความถี่ไฟฟ้าในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงเพื่อไม่ให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ทำงานเยาะจนเกินไป รวมถึงไม่เข้าไปทำงานในช่วงที่โรงไฟฟ้าในพื้นที่ทำงาน

### 2.2.3 ด้านผู้บริโภค

ด้านผู้บริโภคคือความต้องการใช้ไฟฟ้าหรือโหลด โดยส่วนใหญ่โหลดของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเป็นโหลดเกี่ยวกับที่อยู่อาศัย สถานที่ราชการ โรงพยาบาล สนามบิน สถานศึกษา โรงแรม และอื่น ๆ อีกมากมาย ทำให้ช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนสูงที่สุดของจังหวัดมีอยู่สองช่วงเวลาคือเวลาประมาณ 05.00-07.00 น. และ 18.00-20.00 น. ตามข้อมูลที่ตรวจวัดช่วงเดือนพฤศจิกายน 2561 รวมถึงสภาพภูมิอากาศ และลักษณะความเป็นอยู่ของผู้คนในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนทำให้มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเช้าและเย็น

## 2.3 ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกี่ยวกับข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า

ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [2] มีผลบังคับใช้และมีข้อกำหนดสำหรับผู้ให้บริการที่ต้องการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าว่าด้วยการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเกี่ยวกับการควบคุมความถี่ไฟฟ้า

### 2.3.1 การควบคุมความถี่ไฟฟ้า

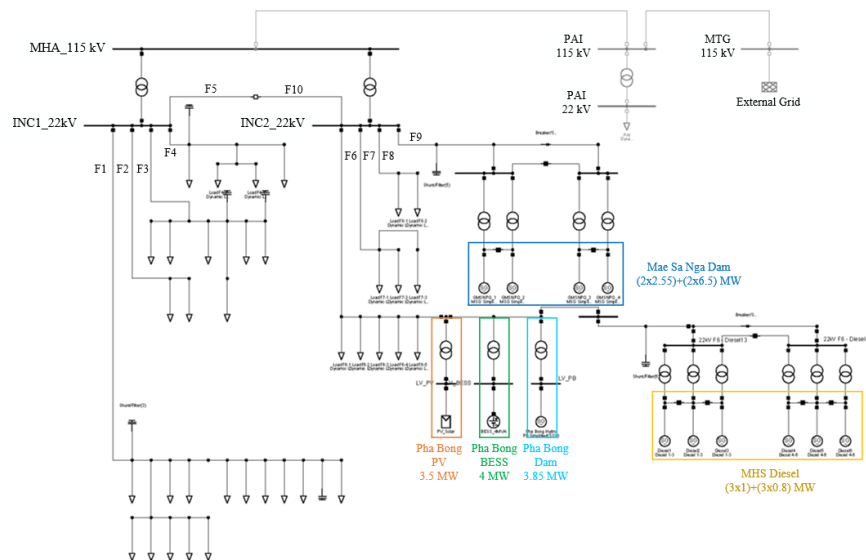
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะควบคุมความถี่ของระบบให้อยู่ที่  $50 \pm 0.5$  เฮิร์ตซ์ ผู้ขอใช้บริการจะต้องควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เชื่อมต่ออยู่กับระบบตลอดเวลา หากความถี่ของระบบไม่อยู่ในเกณฑ์ 47.00 - 52.00 เฮิร์ตซ์ ต่อเนื่องเกิน 0.1 วินาที จะต้องปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกจากระบบทันที

### 2.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่

ข้อกำหนดของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Rate Of Change Of Frequency, ROCOF) เนื่องจากในประเทศไทยทางการไฟฟ้าฯ ไม่ได้มีข้อกำหนดที่ชัดเจนเกี่ยวกับข้อกำหนดของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอ้างอิงมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า [5] กำหนดให้อยู่ในเกณฑ์  $\pm 0.5$  เฮิร์ตซ์ต่อวินาที

## 2.4 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนจำลองระบบด้วยโปรแกรม DigSILENT ที่ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ดังรูปที่ 2.10 และการจำลองระบบจะไม่พิจารณาด้านระบบป้องกัน (Protection system)



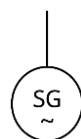
รูปที่ 2.10 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซล โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และแบบจำลองของโหลด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

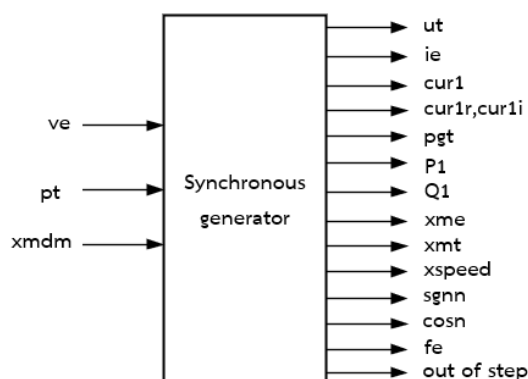
#### 2.4.1 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

สำหรับแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจะใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งภายในของแบบจำลองเครื่องกำเนิดซิงโครนัสจะมีสัญญาณขาเข้า-ออกดังรูปที่ 2.12 มีรายละเอียดตามตารางที่ 2.5 - ตารางที่ 2.6 โดยโปรแกรมจะมีกระบวนการคิดคำนวณตามทฤษฎี ทำให้ได้ค่าสัญญาณขาออก ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาในลำดับถัดไป



รูปที่ 2.11 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส





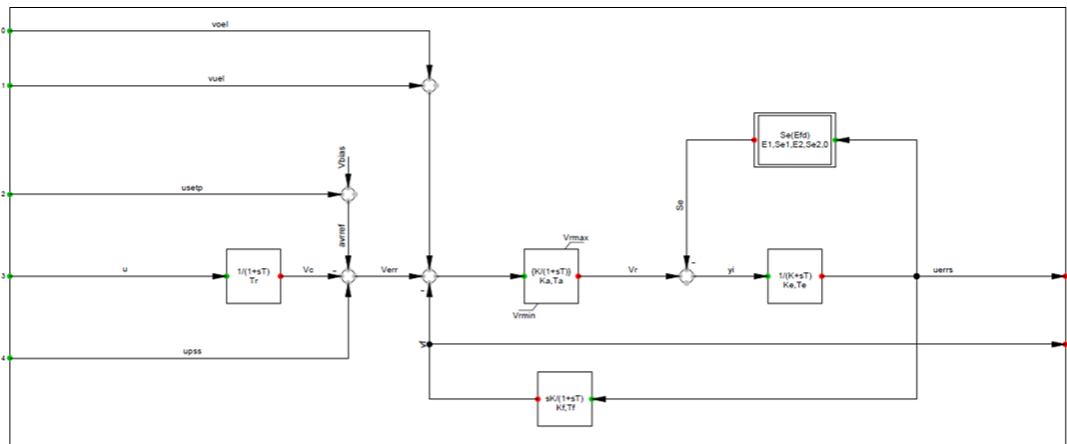
รูปที่ 2.12 สัญญาณภายในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
 ตารางที่ 2.5 สัญญาณขาเข้าของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
ve	Excitation Voltage	p.u.
pt	Turbine Power	p.u.
xmdm	Torque Input	p.u.

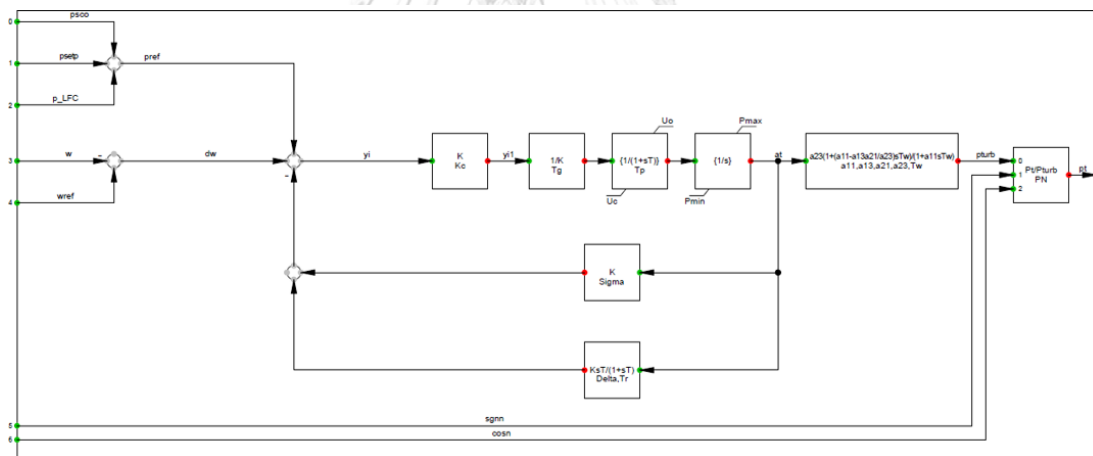
ตารางที่ 2.6 สัญญาณขาออกของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
ut	Terminal Voltage	p.u.	xme	Electrical Torque	p.u.
ie	Excitation Current	p.u.	xmt	Mechanical Torque	p.u.
cur1	Positive-Sequence, Magnitude	p.u.	xspeed	Speed	p.u.
cur1r,cur1i	Positive-Sequence, Real Part Positive-Sequence, Imaginary Part	p.u.	sgnn	Total Nominal Apparent power	MVA
pgt	Electrical Power	p.u.	cosn	Nominal-Power factor	-
P1	Positive-Sequence, Active Power	MW	fe	Frequency Output	p.u.
Q1	Positive-Sequence, Reactive Power	Mvar	outofstep	Out of Step	-

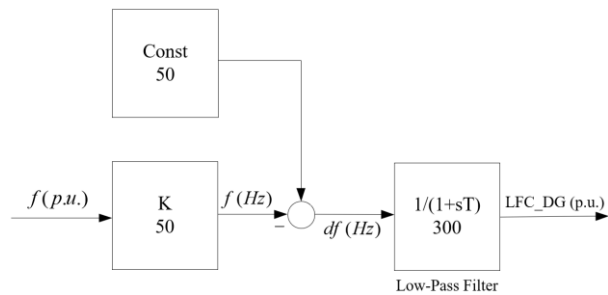
ในส่วนระบบควบคุมของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) อ้างอิงตาม [8] โดยใช้ตามมาตรฐาน 1968 IEEE Type 1 Excitation System (IEEET1) ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) แสดงในรูปที่ 2.13 และใช้มาตรฐาน 1981 Type 3 Turbine-governor model (IEEEG3) ในการควบคุมกังหันโรงไฟฟ้า (Governor) แสดงในรูปที่ 2.14 รวมถึงแบบจำลองระบบควบคุมความถี่ของโรงไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.13 แบบจำลองระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (AVR)



รูปที่ 2.14 แบบจำลองระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้า (Governor)



รูปที่ 2.15 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่ของโรงไฟฟ้า

สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับค่าตัวแปรพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาอ้างอิงจาก [10] และสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ปัจจุบันยังไม่มี การทดสอบเพื่อแสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่แน่ชัดเหมือนดังเช่นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ดังนั้น ในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้ค่าตัวแปรของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา อ้างอิงตามงานวิจัย [8], [11] มีกำลังผลิตติดตั้ง 3.85 เมกะวัตต์ ซึ่งเป็นค่าขนาดในอนาคต โดยค่าตัวแปรที่สำคัญเป็นดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตัวแปรที่สำคัญของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

	ตัวแปรในโปรแกรม DigSILENT	โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา		โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)
		โรงที่ 1, 2	โรงที่ 3, 4	
ค่าที่ใช้ในการจำลองระบบ				
Inertia constant base MVA (s)	H	0.57		
Rated apparent power of generator (MVA)	sgn	3.375	3.3125	4.53
Rated apparent power of turbine (MW)	PN	2.55	2.65	3.85
Power factor	cosn	0.85 lag	0.80 lag	0.85 lag
Rated voltage (kV)	ugn	3.3		
Permanent droop (pu.)	Sigma	0.05		
Temporary droop (pu.)	Delta	4.146831	1.853071	
Governor time constant (s)	Tr	9.796577	4.606162	
Mechanical damping	dpu	0.114		
Water starting time (s)	Tw	2.2355	0.9133	

สำหรับดรู๊ปชั่วคราว (Temporary droop) และค่าคงที่เวลาระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้า (Governor time constant) มีการปรับค่าเพื่อให้ระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้าทำงานไวขึ้นจากอ้างอิง [8, 11] ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาทั้ง 4 ตัว และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ซึ่งแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสมีค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันทำให้ดรู๊ปชั่วคราวและค่าคงที่เวลาระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้า

แตกต่างกันด้วย โดยมีสมการการคำนวณดังสมการที่ (2.4.1) – (2.4.4) [12] และมีรายละเอียดการคำนวณต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$R_T = [2.3 - (T_W - 1.0)0.15] \frac{T_W}{T_M} \quad (2.4.1)$$

$$T_R = [5.0 - (T_W - 1.0)0.5]T_W \quad (2.4.2)$$

โดยที่

$$T_M = 2H_i \quad (2.4.3)$$

$$T_W = \frac{LQ}{gAH_W} \quad (2.4.4)$$

เมื่อ  $T_M$  คือ เวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้ในการเร่งความเร็วรอบจนถึงความเร็วพิกัด (วินาที)

$T_W$  คือ เวลาที่น้ำใช้ในการไหลมาถึงกังหันน้ำ (วินาที)

$H_i$  คือ ค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (วินาที)

$L$  คือ ความยาวของท่อส่งน้ำ (เมตร)

$Q$  คือ อัตราการไหลของน้ำที่กังหันน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากของท่อส่งน้ำ (ตารางเมตร)

$H_W$  คือ ความสูงของหัวน้ำ (เมตร)

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 ตัว มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าคงที่ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	0.57	วินาที
- ความยาวของท่อส่งน้ำ	1,346.5	เมตร
- อัตราการไหลของน้ำที่กังหันน้ำ	3.11	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- พื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากของท่อส่งน้ำ	0.95	ตารางเมตร
- ความสูงของหัวน้ำ	201	เมตร

จากสมการที่ (2.4.1) – (2.4.4) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_M = 2 \times 0.57 = 1.14 \text{ s}$$

$$T_W = \frac{1,346.5 \times 3.11}{9.81 \times 0.95 \times 201} = 2.2355 \text{ s}$$

$$R_T = [2.3 - (2.2355 - 1.0)0.15] \frac{2.2355}{1.14} = 4.1468 \text{ p.u.}$$

$$T_R = [5.0 - (2.2355 - 1.0)0.5]2.2355 = 9.7966 \text{ s}$$

ดังนั้น รูปชั่วขณะและค่าคงที่เวลาระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 4.1468 ค่าต่อหน่วย และ 9.7966 วินาที ตามลำดับ

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) จำนวน 1 ตัว มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าคงที่ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	0.57	วินาที
- ความยาวของท่อส่งน้ำ	76	เมตร
- อัตราการไหลของน้ำที่กังหันน้ำ	3.8	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- พื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากของท่อส่งน้ำ	1.131	ตารางเมตร
- ความสูงของหัวน้ำ	28.5	เมตร

จากสมการที่ (2.4.1) – (2.4.4) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_M = 2 \times 0.57 = 1.14 \text{ s}$$

$$T_W = \frac{76 \times 3.8}{9.81 \times 1.131 \times 28.5} = 0.9133 \text{ s}$$

$$R_T = [2.3 - (0.9133 - 1.0)0.15] \frac{0.9133}{1.14} = 1.8531 \text{ p.u.}$$

$$T_R = [5.0 - (0.9133 - 1.0)0.5]0.9133 = 4.6062 \text{ s}$$

ดังนั้น รูปชั่วขณะและค่าคงที่เวลาระบบควบคุมกังหันโรงไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีค่าเท่ากับ 1.8531 ค่าต่อหน่วย และ 4.6062 วินาที ตามลำดับ

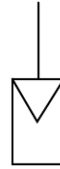
## 2.4.2 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าดีเซล

แบบจำลองของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสในโปรแกรมจะใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในหัวข้อที่ 2.4.1 รวมถึงมาตรฐานในการควบคุมแรงดันอัตโนมัติด้วย แต่จะไม่มีในส่วนของระบบควบคุมความถี่ของกังหัน นอกจากนี้การเดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสในโปรแกรมจำเป็นต้องกำหนดชนิดบัสในแบบจำลองของโรงไฟฟ้าดีเซลเป็นชนิดบัสแรงดันคงที่ (P-V mode)

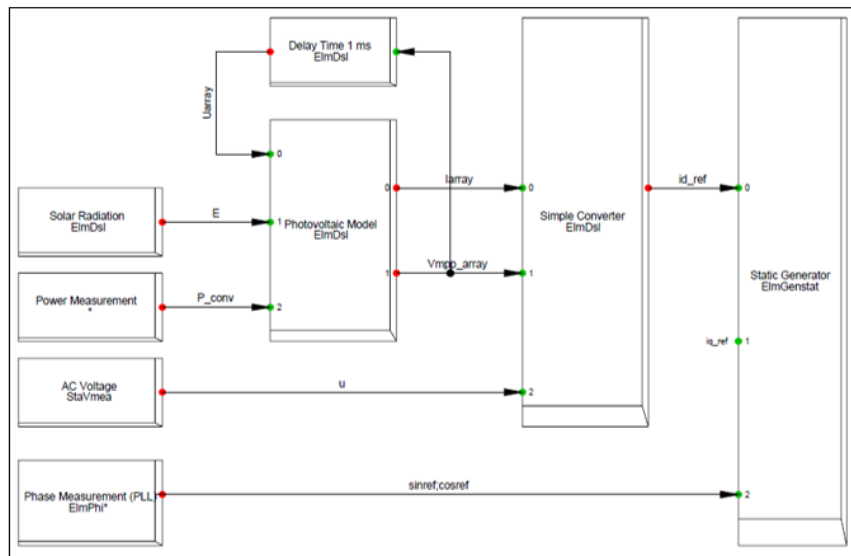
## 2.4.3 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง

แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องในโปรแกรมจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.16 โดยในส่วนแบบจำลองระบบควบคุมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง จะอ้างอิงงานวิจัยที่ [8]

ซึ่งมีระบบควบคุมดังรูปที่ 2.17 โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องจะขยายขนาดจาก 500 กิโลวัตต์ เป็น 3.5 เมกะวัตต์



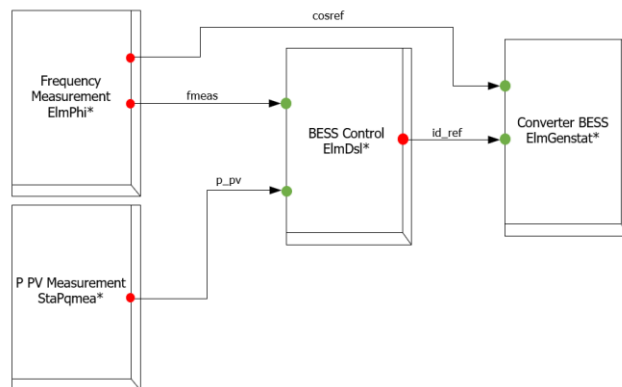
รูปที่ 2.16 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง



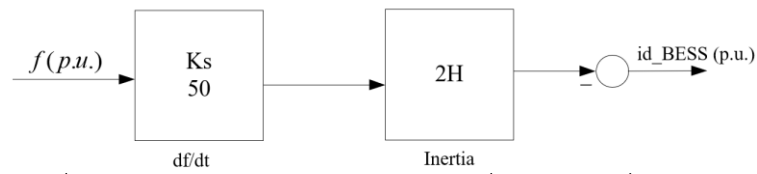
รูปที่ 2.17 แบบจำลองระบบควบคุมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง

#### 2.4.4 แบบจำลองของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

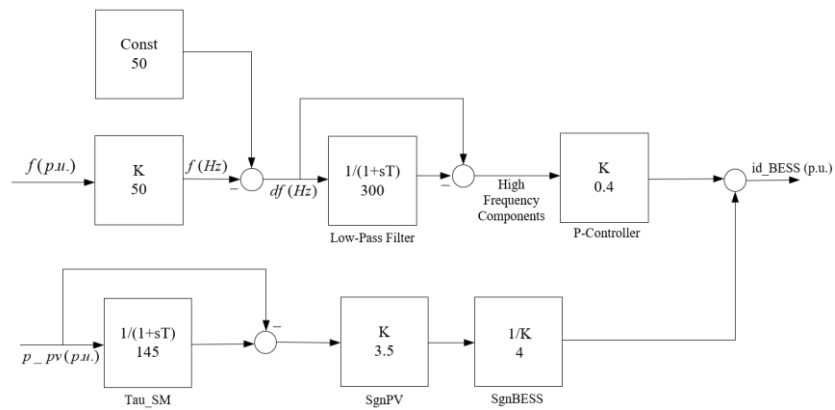
แบบจำลองการทำงานและระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ใช้ในการศึกษามีแบบจำลองระบบควบคุมดังรูปที่ 2.18 ซึ่งมีแบบจำลองควบคุมความถี่ทั้งหมด 2 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบมีการคุมความถี่ที่แตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 2.19 - รูปที่ 2.20



รูปที่ 2.18 แบบจำลองระบบควบคุมของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่



รูปที่ 2.19 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่แบบความเฉื่อยเสมือน



รูปที่ 2.20 แบบจำลองระบบควบคุมความถี่ช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

#### 2.4.5 แบบจำลองของโหลด

การจำลองระบบด้วยโปรแกรม DigSILENT จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดรูปแบบของโหลด หากไม่มีการกำหนดรูปแบบของโหลด โปรแกรมจะพิจารณาค่ากำลังจริง (Real power) และกำลังเสมือน (Reactive power) ที่กำหนดให้ขึ้นอยู่กับแรงดัน ซึ่งจะกลายเป็นค่าคงที่อิมพีแดนซ์ (Constant impedance) ทำให้ค่ากำลังจริงและกำลังเสมือนที่กำหนดไว้ผิดเพี้ยนไปจากความต้องการที่ให้มีค่าคงที่ ดังนั้น จึงกำหนดให้โหลดเป็นรูปแบบพลวัต (Dynamic load) เพื่อให้ค่ากำลังจริงและกำลังเสมือนไม่ขึ้นอยู่กับแรงดัน ดังสมการที่ (2.4.5) – (2.4.6)ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร ตามตารางที่ 2.8

$$P = P_0 \left( aP \cdot \left( \frac{v}{v_0} \right)^{e_{-aP}} + bP \cdot \left( \frac{v}{v_0} \right)^{e_{-bP}} + (1 - aP - bP) \cdot \left( \frac{v}{v_0} \right)^{e_{-cP}} \right) \quad (2.4.5)$$

เมื่อ  $cP = (1 - aP - bP)$

$$Q = Q_0 \left( aQ \cdot \left( \frac{v}{v_0} \right)^{e_{-aQ}} + bQ \cdot \left( \frac{v}{v_0} \right)^{e_{-bQ}} + (1 - aQ - bQ) \cdot \left( \frac{v}{v_0} \right)^{e_{-cQ}} \right) \quad (2.4.6)$$

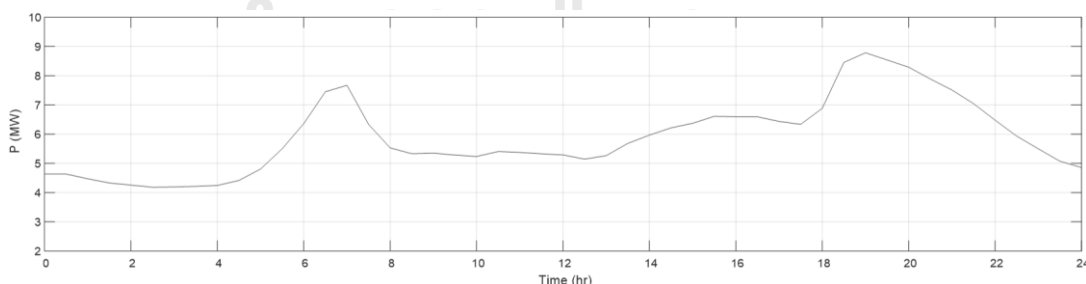
เมื่อ  $cQ = (1 - aQ - bQ)$

ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรที่กำหนดของกำลังจริงและกำลังเสมือนสำหรับโหลดแบบพลวัต

P				Q			
ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
aP	1	e_aP	0	aQ	1	e_aQ	0
bP	0	e_bP	1	bQ	0	e_bQ	1
cP	-	e_cP	2	cQ	-	e_cQ	2

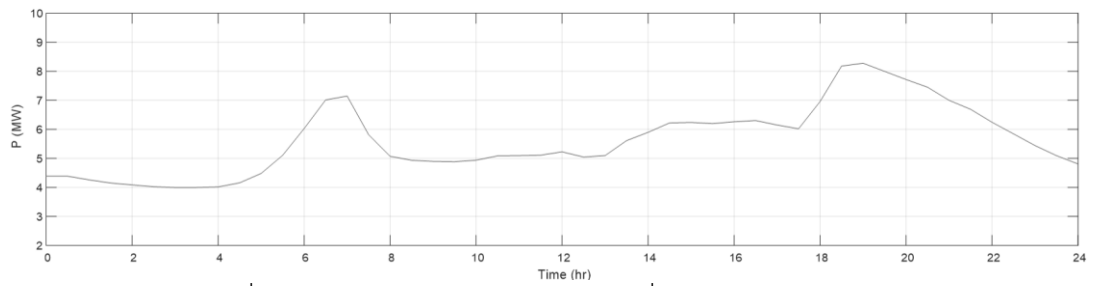
ข้อมูลโหลดที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเป็นข้อมูลจากการตรวจวัดจริงระหว่างวันพฤหัสบดีที่ 8 ถึงวันอังคารที่ 13 พฤศจิกายน 2561 โดยทั่วไปความละเอียดของข้อมูลตรวจวัดโหลดจาก SCADA เป็นค่ากำลังเฉลี่ยราย 30 นาที ซึ่งข้อมูลโหลดอย่างละเอียดที่ได้จากระบบ SCADA ณ ปัจจุบันมีเพียงค่าแรงดันและกระแสเท่านั้น และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของโหลดในอดีต เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในเบื้องต้น จึงกำหนดให้ค่าตัวประกอบกำลังของโหลดมีค่าเท่ากับ 1 ค่ากำลังเสมือนของโหลดจึงเป็นศูนย์และมีแต่กำลังจริง ดังนั้น รูปกำลังไฟฟ้าของโหลดที่แสดงต่อไปนี้มีเพียงกำลังไฟฟ้าของโหลดเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อมูลระหว่างวันพฤหัสบดีที่ 8 ถึงวันอังคารที่ 13 พฤศจิกายน 2561 ที่มีความละเอียดของข้อมูล 30 นาที ดังรูปที่ 2.21 - รูปที่ 2.26 และ 10 วินาที ดังรูปที่ 2.27 - รูปที่ 2.32 ตามลำดับที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนต่อไป

1) ความผันผวนของโหลดราย 30 นาที

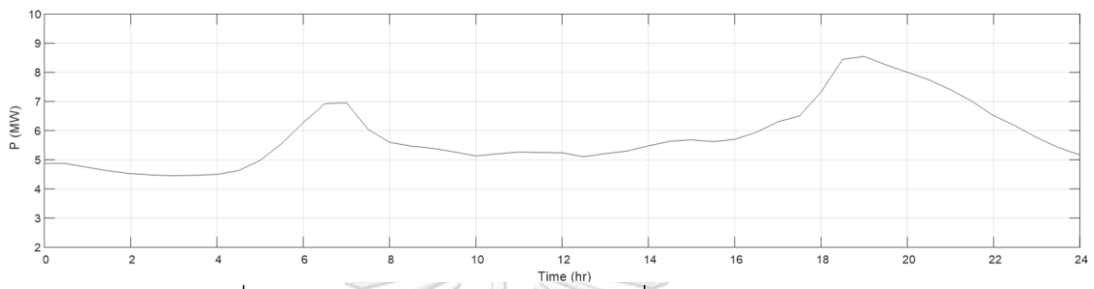


รูปที่ 2.21 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 8 พฤศจิกายน 2561

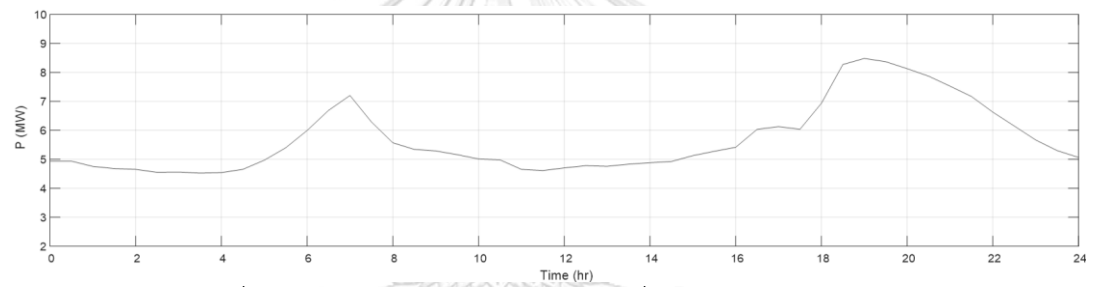




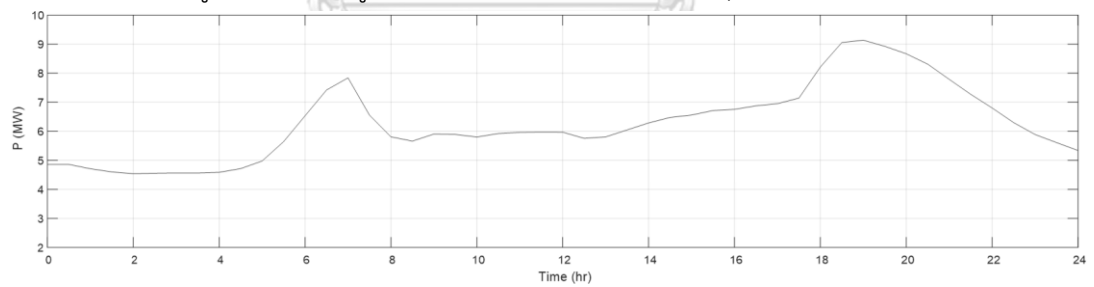
รูปที่ 2.22 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 9 พฤศจิกายน 2561



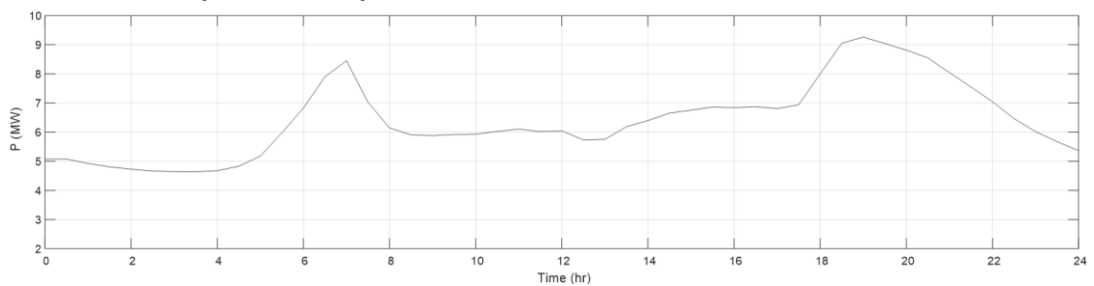
รูปที่ 2.23 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 10 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 2.24 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561

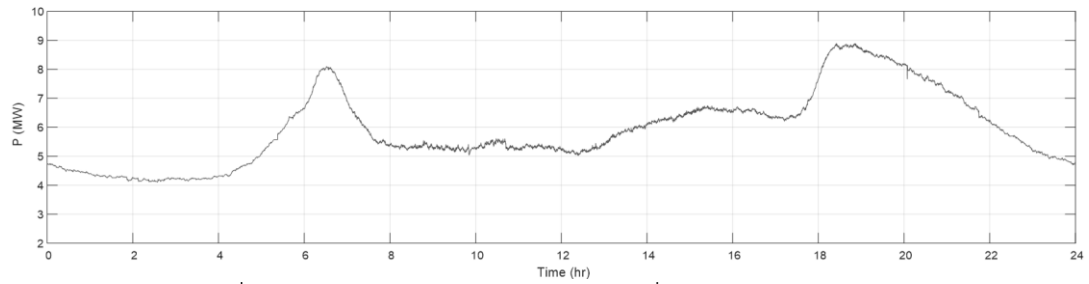


รูปที่ 2.25 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 12 พฤศจิกายน 2561

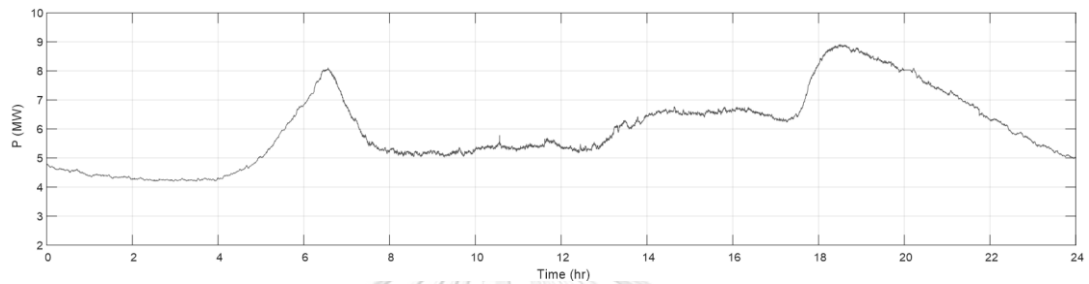


รูปที่ 2.26 ข้อมูลโหลดราย 30 นาที วันที่ 13 พฤศจิกายน 2561

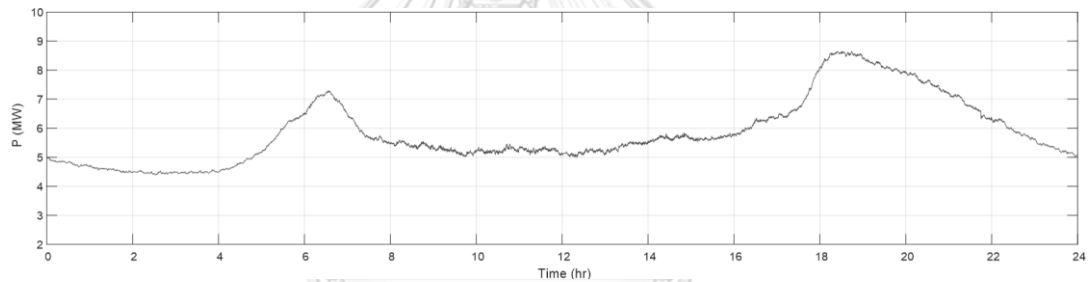
## 2) ความผันผวนของโหลดราย 10 วินาที



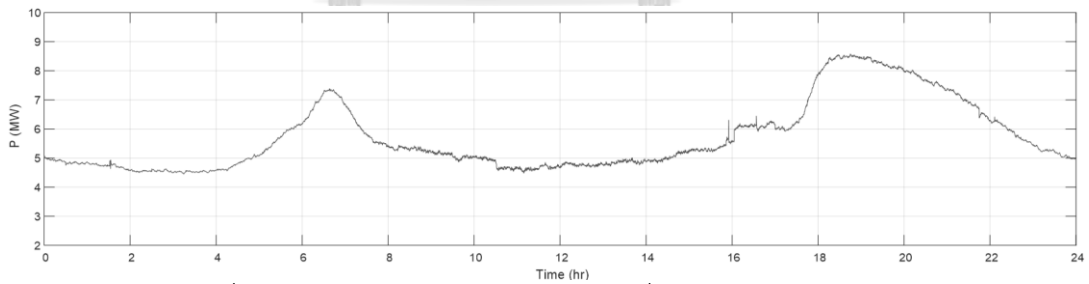
รูปที่ 2.27 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 8 พฤศจิกายน 2561



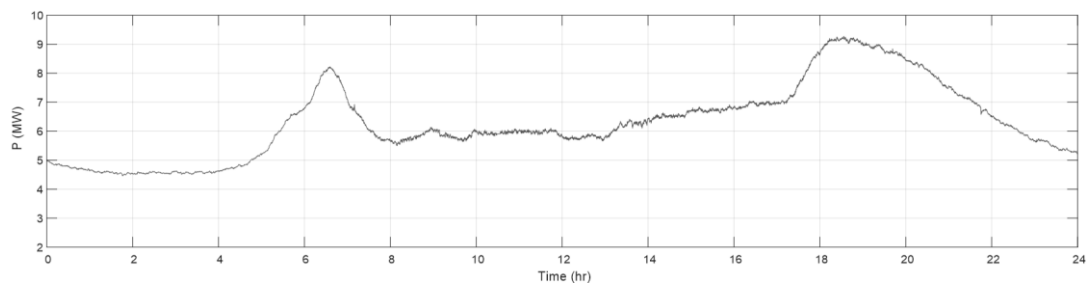
รูปที่ 2.28 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 9 พฤศจิกายน 2561



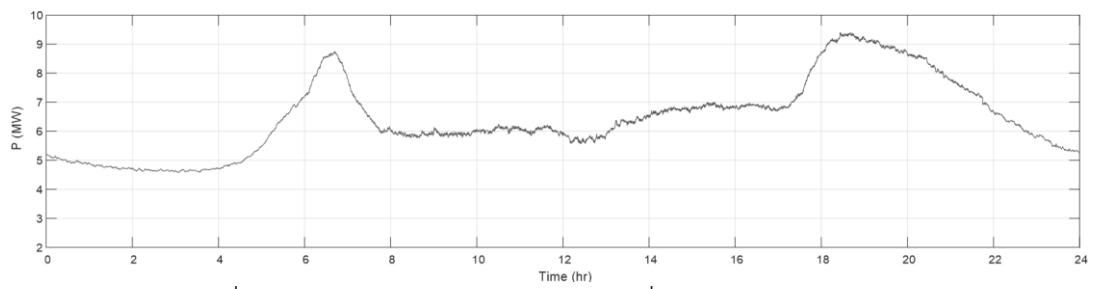
รูปที่ 2.29 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 10 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 2.30 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 2.31 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 12 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 2.32 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 13 พฤศจิกายน 2561



### บทที่ 3

#### ปัญหาความเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

สำหรับเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงปัญหาเกี่ยวกับความเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบต่ำเมื่อในระบบเกิดความผันผวนจากโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และจะชี้ให้เห็นความสำคัญของความละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยลำดับแรกเราจำเป็นต้องทราบก่อนว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนขณะที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าหลักให้แก่ระบบมีค่าอยู่เท่าไร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

ระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเชื่อมต่ออยู่กับสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่ส่งมาจากอำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบสูง แต่เมื่อระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรงไฟฟ้า ทำหน้าที่เดินเครื่องผลิตไฟฟ้าส่งผลทำให้ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบมีแนวโน้มลดลง โดยสามารถคำนวณหาค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบได้ ดังนี้

ค่าคงที่ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3.7)

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1

$$H_{MSN1} = \frac{E_{k,MSN1}}{P_{MSN1,rated}} = \frac{0.57 \times 3.375 \times 10^6}{2.86875 \times 10^6} = 0.67 \text{ s}$$

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 2

$$H_{MSN2} = \frac{E_{k,MSN2}}{P_{MSN2,rated}} = \frac{0.57 \times 3.375 \times 10^6}{2.86875 \times 10^6} = 0.67 \text{ s}$$

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3

$$H_{MSN3} = \frac{E_{k,MSN3}}{P_{MSN3,rated}} = \frac{0.57 \times 3.3125 \times 10^6}{2.65 \times 10^6} = 0.71 \text{ s}$$

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 4

$$H_{MSN4} = \frac{E_{k,MSN4}}{P_{MSN4,rated}} = \frac{0.57 \times 3.3125 \times 10^6}{2.65 \times 10^6} = 0.71 \text{ s}$$

หมายเหตุ : MSN คือ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา

ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.4.7)

$$H_{sys} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i P_{i,rated}}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}}$$

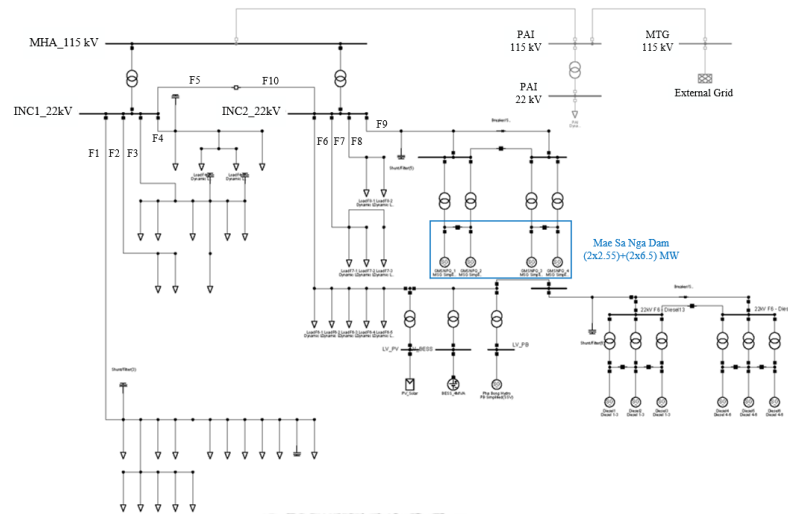
$$H_{sys} = \frac{((0.67 \times 2.86875) + (0.67 \times 2.86875) + (0.71 \times 2.65) + (0.71 \times 2.65)) \times 10^6}{(2.86875 + 2.86875 + 2.65 + 2.65) \times 10^6}$$

$$H_{sys} = 0.69 s$$

หากระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กจะมีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรงเท่ากับ 0.69 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบมีค่าน้อยไม่ถึง 1 วินาที อาจนำไปสู่ปัญหาได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีความเฉื่อยต่ำเมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้น โดยเริ่มต้นที่การพิจารณาความละเอียดของข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่

### 3.2 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่งที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่

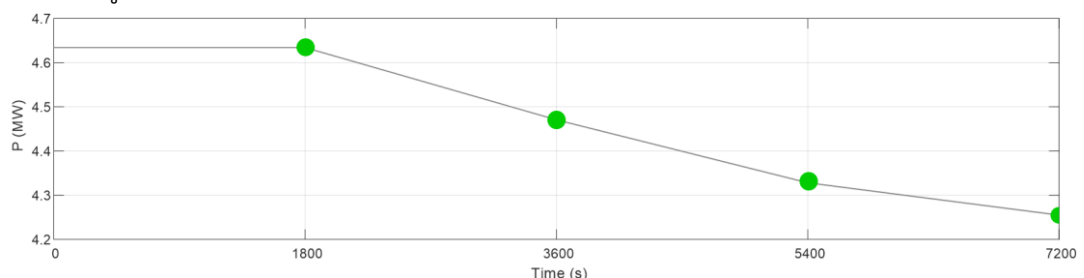
ปัจจุบันความละเอียดของข้อมูลตรวจวัดจาก SCADA มีเพียงค่าแรงดันและกระแสเท่านั้น โดยทั่วไป ค่ากำลังที่แสดงจะเป็นค่ากำลังเฉลี่ยของโหลดที่มีความละเอียดราย 30 นาที ซึ่งขณะนี้ความละเอียดสูงสุดของข้อมูลโหลดอยู่ที่ 10 วินาที จึงเป็นที่มาในการพิจารณาความละเอียดของข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณี คือ ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดราย 30 นาที และ 10 วินาที ตามลำดับ โดยทั้ง 2 กรณีนี้มีรูปแบบการจำลองระบบดังรูปที่ 3.1 มีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักของระบบคือโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาจำนวน 4 โรง



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบเมื่อมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้า โดยการจำลองระบบจะแสดงภาพรวมของผลกระทบจากความผันผวนของโหลดต่อความถี่ของระบบใน 24 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 8 ถึง 13 พฤศจิกายน 2561 มีรายละเอียดของแต่ละกรณีดังต่อไปนี้

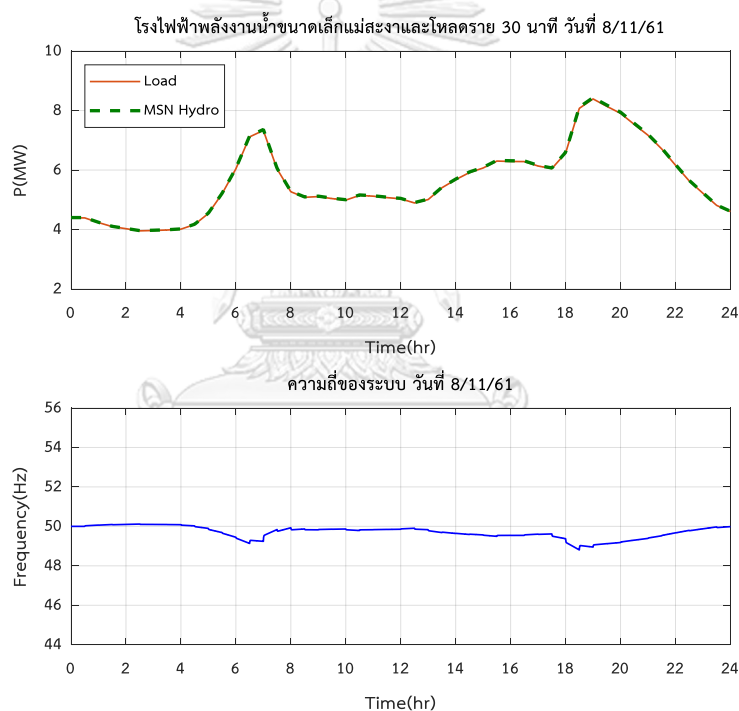
### 3.2.1 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดราย 30 นาที

การจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีข้อมูลการตรวจวัดโหลดราย 30 นาที ด้วยโปรแกรม DigSILENT เมื่อกำหนดค่ากำลังจริงของโหลดในโปรแกรม ค่ากำลังจริงจะมีความต่อเนื่องกัน เช่น ตัวอย่างข้อมูลวันที่ 8 พฤศจิกายน 2561 ช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 7200 รูปที่ 3.2 มีกำลังจริงอยู่ที่ 1800 3600 และ 5400 วินาที ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อกำหนดให้โปรแกรม DigSILENT จำลองการทำงานของระบบที่มีความละเอียดมากกว่า 30 นาที เช่น ทุก ๆ 1 วินาที โปรแกรมจะประมาณค่ากำลังจริงจุดข้อมูลราย 30 นาที เพื่อให้กำลังจริงของโหลดมีความต่อเนื่องแบบเชิงเส้น ทำให้กราฟกำลังจริงจากข้อมูลโหลดที่มีความละเอียดราย 30 นาที มีลักษณะแบบลาดเอียง (Ramp) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

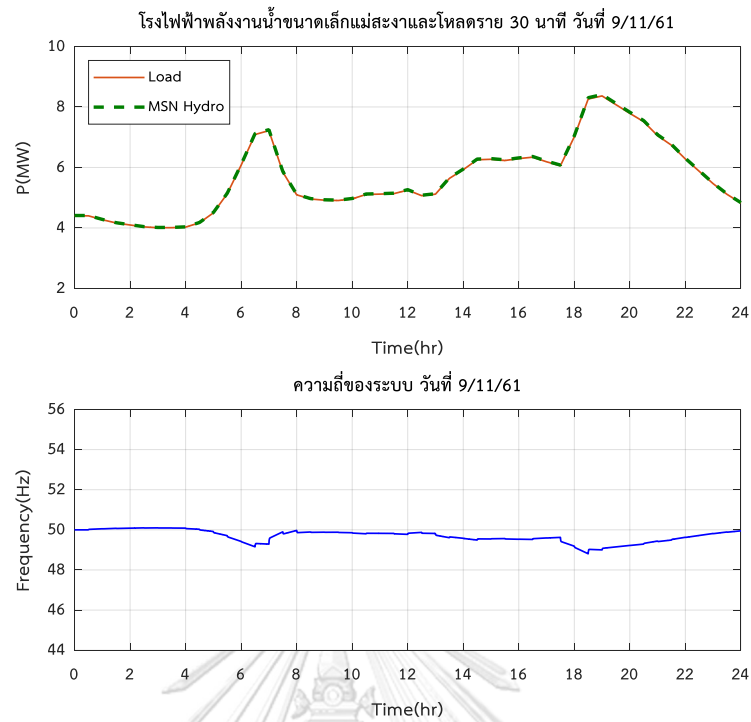


รูปที่ 3.2 การประมาณค่าระหว่างจุดข้อมูลโหลดราย 30 นาที ช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 7200 ของโปรแกรม DigSILENT

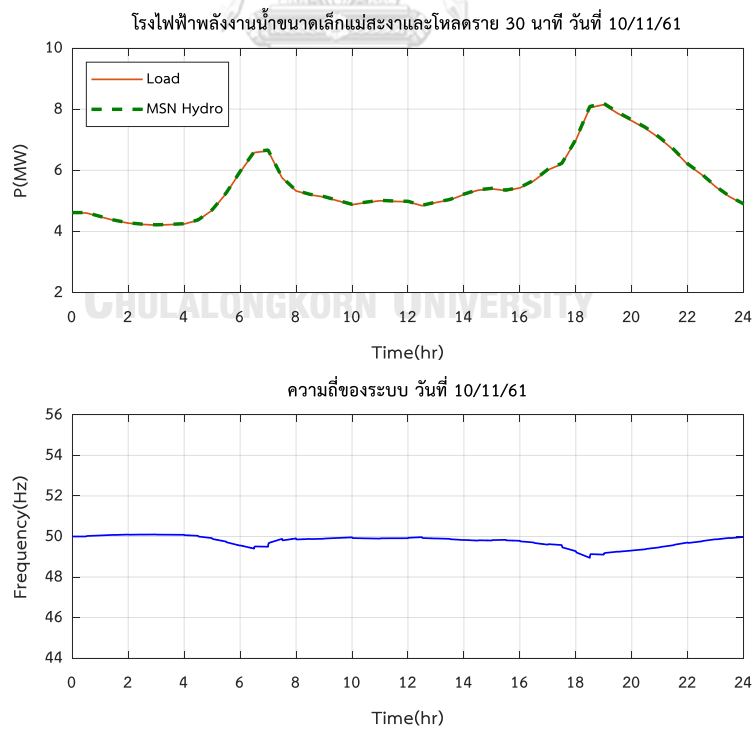
ผลจากการจำลองระบบพบว่าโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการของโหลด แต่ช่วงเวลาที่โหลดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบเกินขอบเขตที่การไฟฟ้าฯ กำหนดคือ 49.5 ถึง 50.5 เฮิร์ตซ์ หรือเกิดความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดประมาณ 1 เฮิร์ตซ์ รูปที่ 3.3 – รูปที่ 3.8 เนื่องจากระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีเพียงการควบคุมความถี่จากการตอบสนองของความถี่ และการตอบสนองปฐมภูมิเท่านั้นทำให้ความถี่ที่ควบคุมไม่กลับมามีค่าที่ 50 เฮิร์ตซ์เหมือนเดิมแต่จะเป็นค่าความถี่สมดุลใหม่แทน อย่างไรก็ตามความละเอียดของข้อมูลความผันผวนโหลดราย 30 นาที ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากข้อมูลความผันผวนของโหลดหยาบเกินกว่าที่จะสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ ของความถี่ในระดับวินาทีตามค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบที่มีเพียง 0.69 วินาที



รูปที่ 3.3 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2561

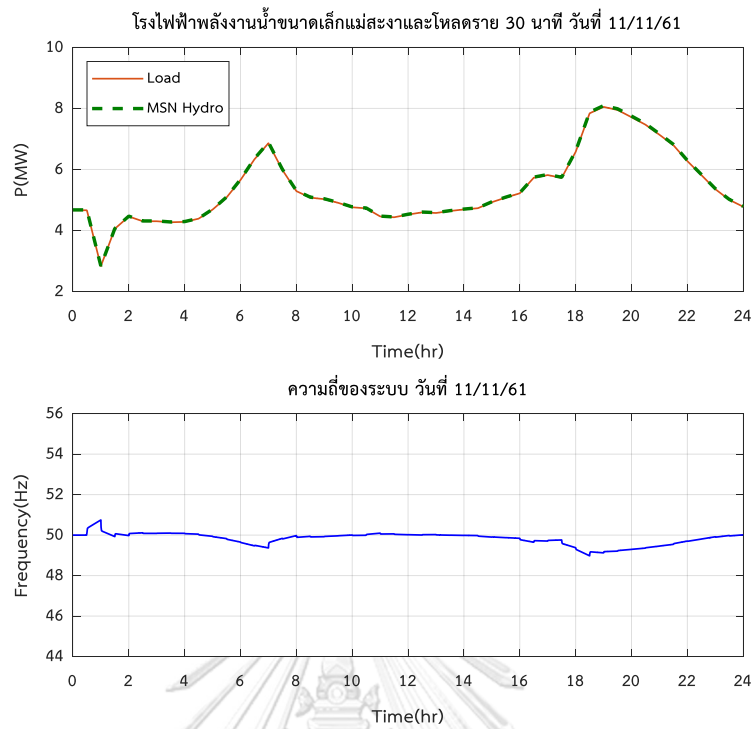


รูปที่ 3.4 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2561

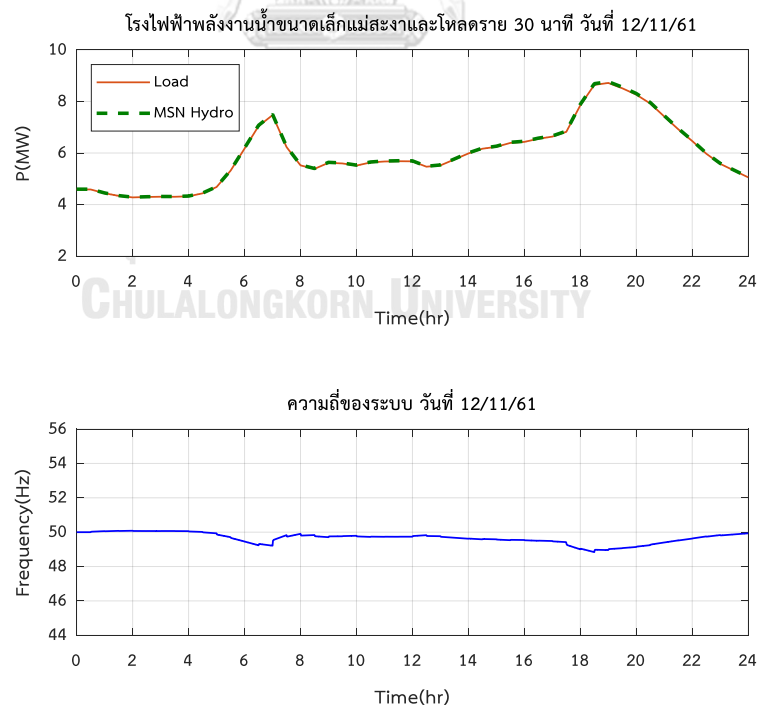


รูปที่ 3.5 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2561

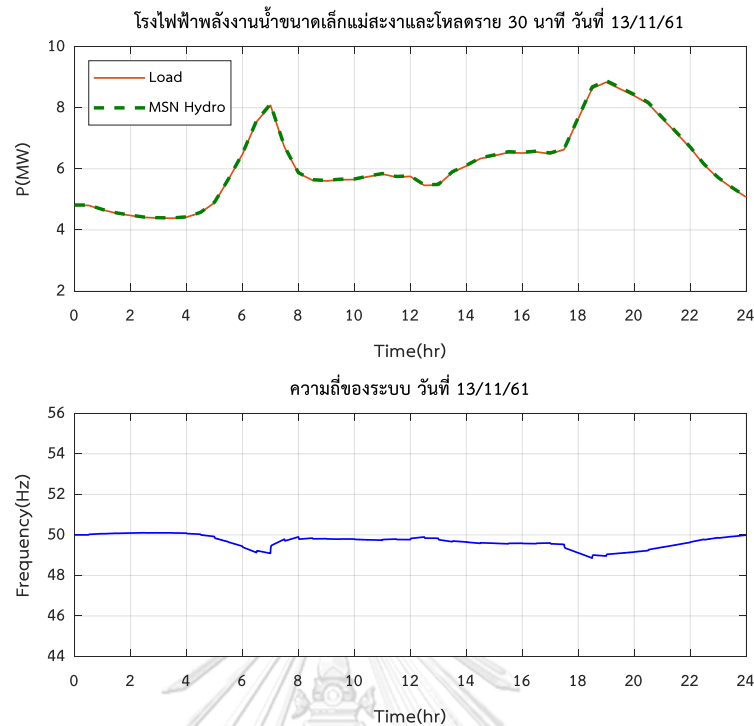




รูปที่ 3.6 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561



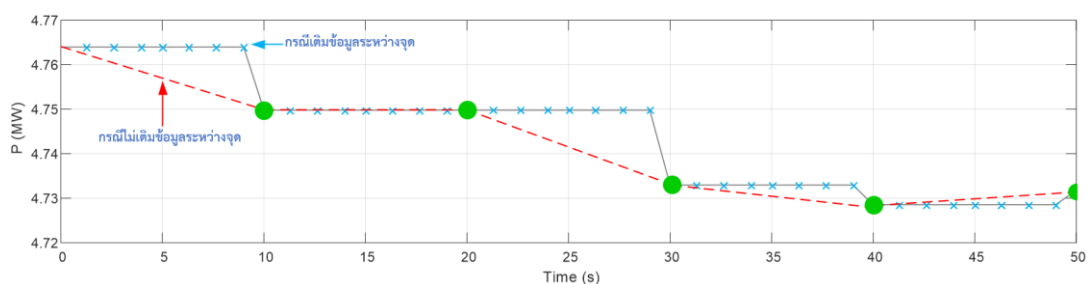
รูปที่ 3.7 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 3.8 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 30 นาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 13 พฤศจิกายน 2561

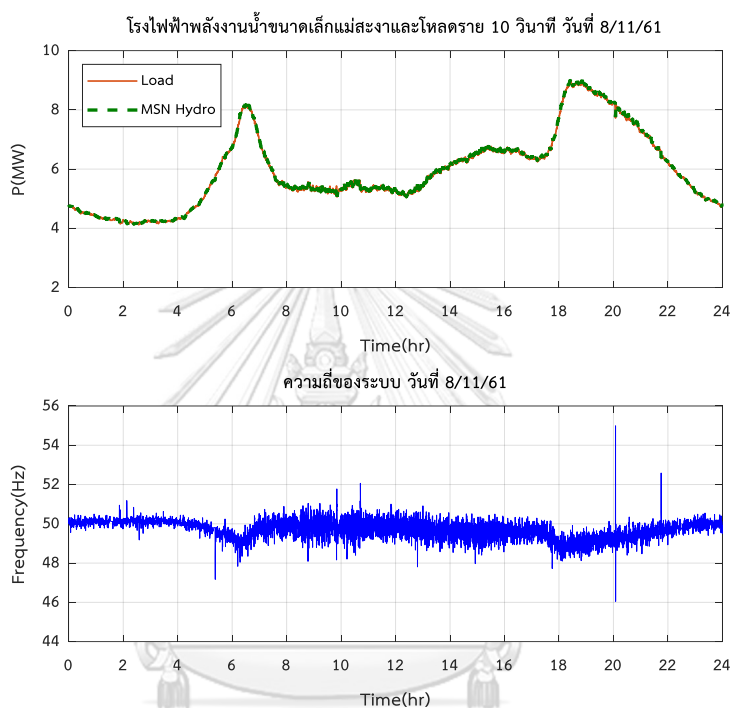
### 3.2.2 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 10 วินาที

การจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีข้อมูลการตรวจวัดไหลทราย 10 วินาที ด้วยโปรแกรม DigSILENT ค่ากำลังจริงจะไม่มีความสัมพันธ์กันเช่นเดียวกับความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 30 นาที เช่น ตัวอย่างข้อมูลวันที่ 8 พฤศจิกายน 2561 ช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 50 รูปที่ 3.9 มีกำลังจริงอยู่ที่ 10 20 30 40 และ 50 วินาที ตามลำดับ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจากไหลอาจเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตของวงจรไฟฟ้า ดังนั้นเราจึงมีการเติมข้อมูลระหว่างจุดให้มีค่าคงที่ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของไหลมีลักษณะใกล้เคียงขั้นบันได (Step) ไม่ใช่แบบลาดเอียง ซึ่งจากเดิมจะมีการประมาณค่าระหว่างกำลังจริงสองค่าในลักษณะลาดเอียงให้มีลักษณะเป็นขั้นบันไดแทน

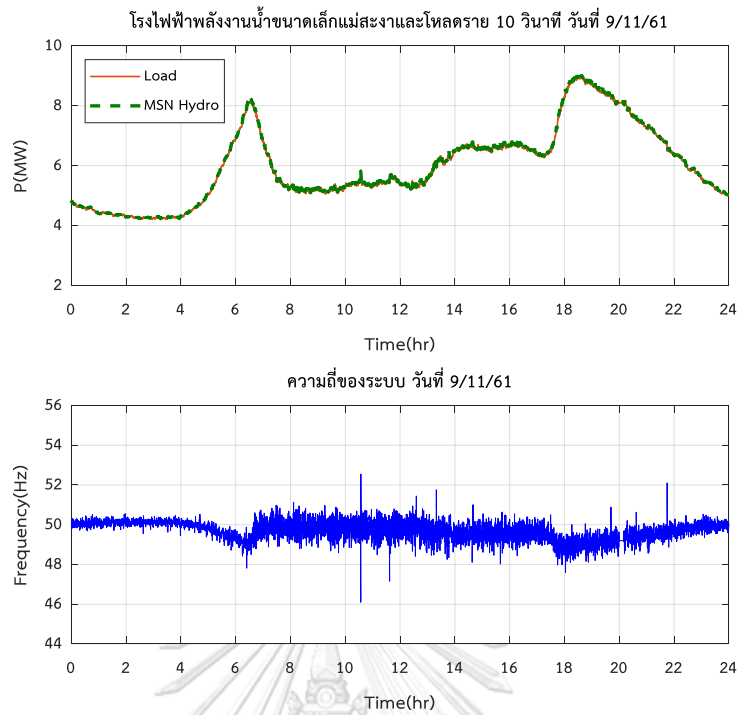


รูปที่ 3.9 ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 10 วินาที ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 50

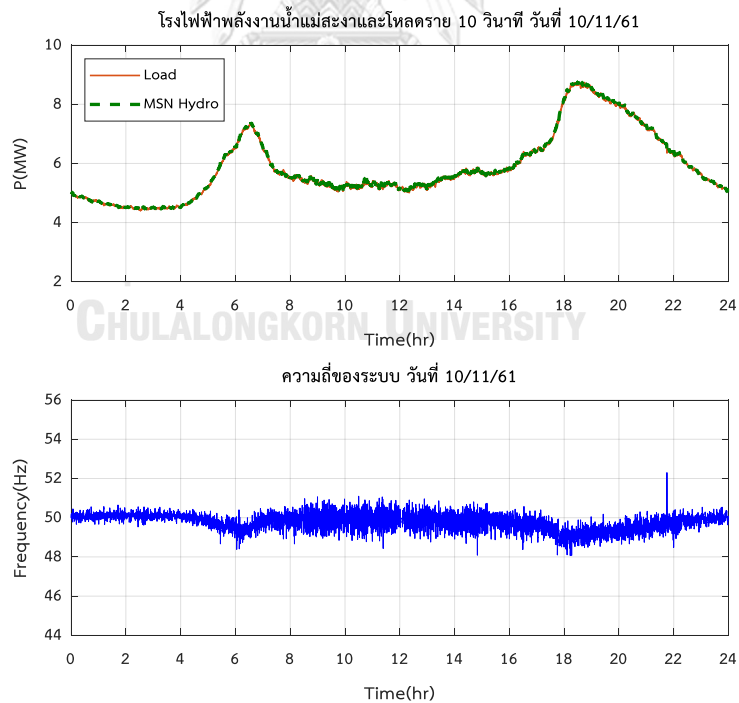
เมื่อจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีข้อมูลการตรวจวัดโหลดราย 10 วินาที ตั้งแต่วันที่ 8 ถึง 13 พฤศจิกายน 2561 ดังรูปที่ 3.10 – รูปที่ 3.15 พบว่าความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดราย 10 วินาที มีความละเอียดที่มากกว่าข้อมูลความผันผวนของโหลดราย 30 นาที ทำให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของความผันผวนของโหลดได้อย่างชัดเจน โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงายังคงผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการโหลดอยู่ ซึ่งความผันผวนของโหลดราย 10 วินาที ทำให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดประมาณ 10 เฮิรตซ์



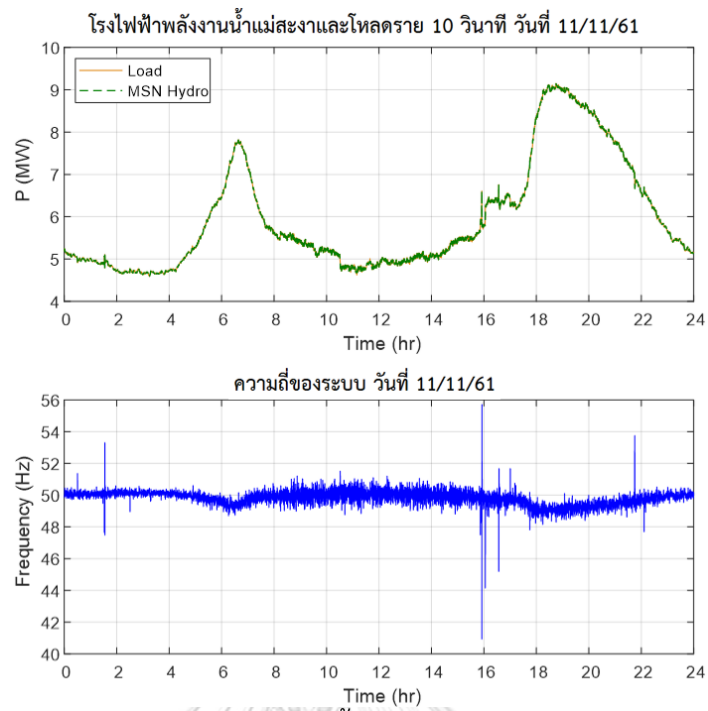
รูปที่ 3.10 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2561



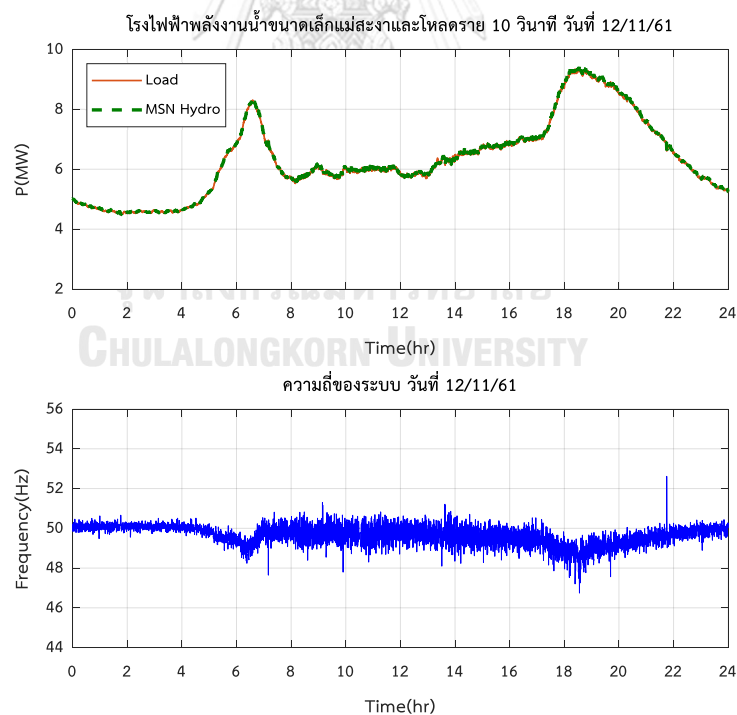
รูปที่ 3.11 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2561



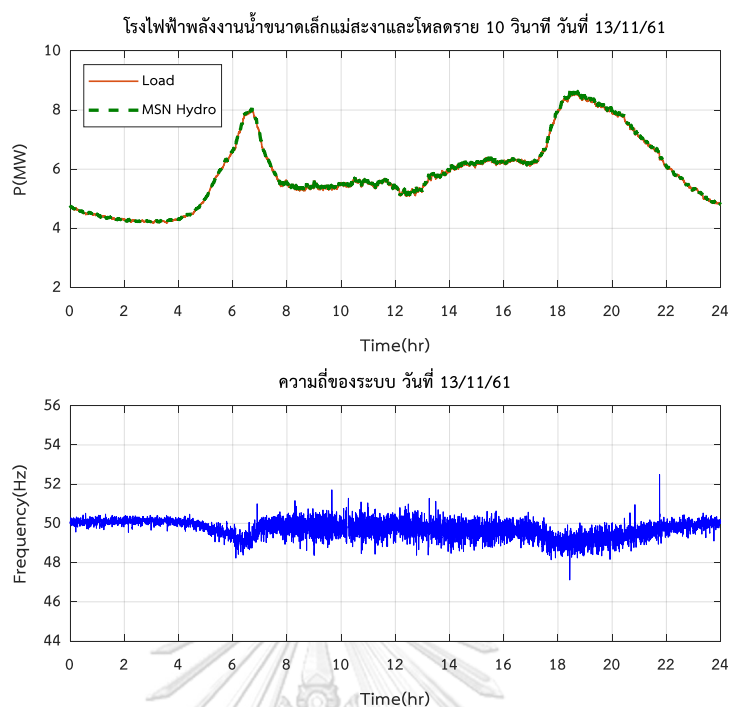
รูปที่ 3.12 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 3.13 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561



รูปที่ 3.14 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 12 พฤศจิกายน 2561

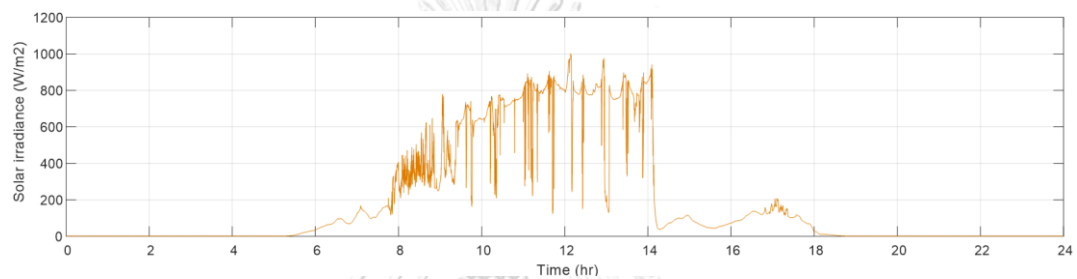


รูปที่ 3.15 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ข้อมูลไหลทราย 10 วินาที และความถี่ของระบบ ในวันที่ 13 พฤศจิกายน 2561

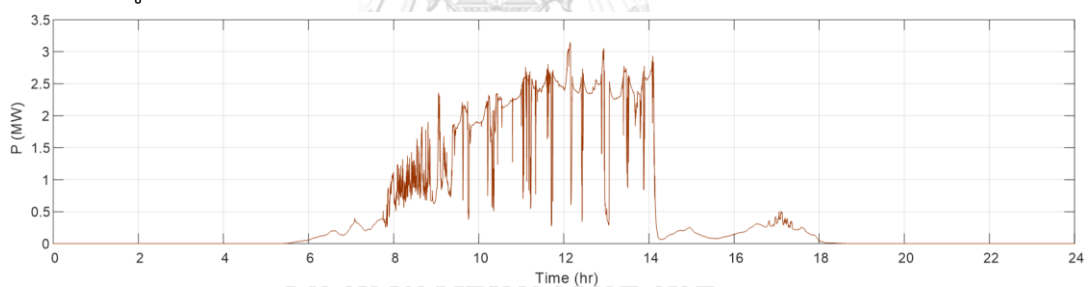
จากการจำลองระบบตั้งแต่วันที่ 8 ถึง 13 พฤศจิกายน 2561 ทั้งสองกรณี พบว่าความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 30 นาที มีผลทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดประมาณ 1 เฮิร์ตซ์ ในขณะที่ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 10 วินาที มีผลทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดประมาณ 10 เฮิร์ตซ์ ซึ่งความละเอียดของข้อมูลไหลทราย 30 นาที สะท้อนให้เห็นผลกระทบต่อความถี่ของระบบน้อยกว่าความละเอียดของข้อมูลไหลทราย 10 วินาที ที่สะท้อนผลกระทบต่อความถี่ของระบบอย่างมาก ทำให้ความถี่ของระบบเกินขอบเขตที่กำหนด นอกจากนี้ ระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไหลที่มีความละเอียดราย 30 นาที มีช่วงเวลายาวกว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่มีค่าเท่ากับ 0.69 วินาที ในขณะที่ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 10 วินาที เป็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหน่วยวินาที ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบทำให้เห็นผลกระทบต่อความถี่ได้ชัดเจนกว่า ดังนั้น งานวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของไหลทราย 10 วินาที ในการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของความถี่

### 3.2.3 ความละเอียดของความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์

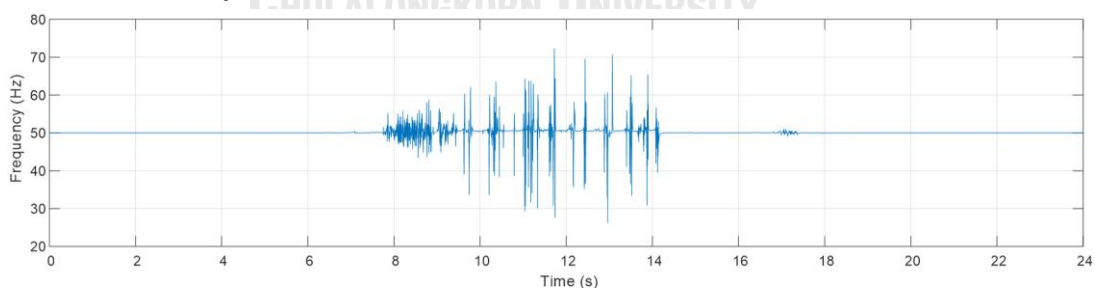
จากข้อมูลการตรวจวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง ปี 2559 มีข้อมูลความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องที่มีความละเอียดราย 10 วินาที ความละเอียดดังกล่าว ณ ขณะนี้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนแล้ว ซึ่งจาก [8] มีจำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด 42 วัน สามารถแสดงตัวอย่างข้อมูลความละเอียดของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องได้ดังรูปที่ 3.16 – รูปที่ 3.17 และมีลักษณะความถี่ของระบบดังรูปที่ 3.18 ซึ่งข้อมูลความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ราย 10 วินาที สะท้อนให้เห็นผลกระทบต่อความถี่ของระบบ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ประมาณ 20 เฮิรตซ์



รูปที่ 3.16 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง



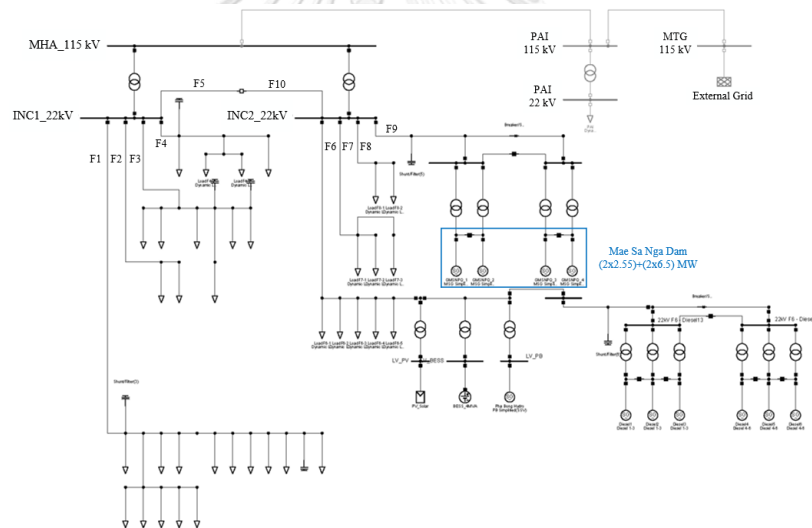
รูปที่ 3.17 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง



รูปที่ 3.18 ความถี่ของระบบเมื่อมีความผันผวนจากกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง

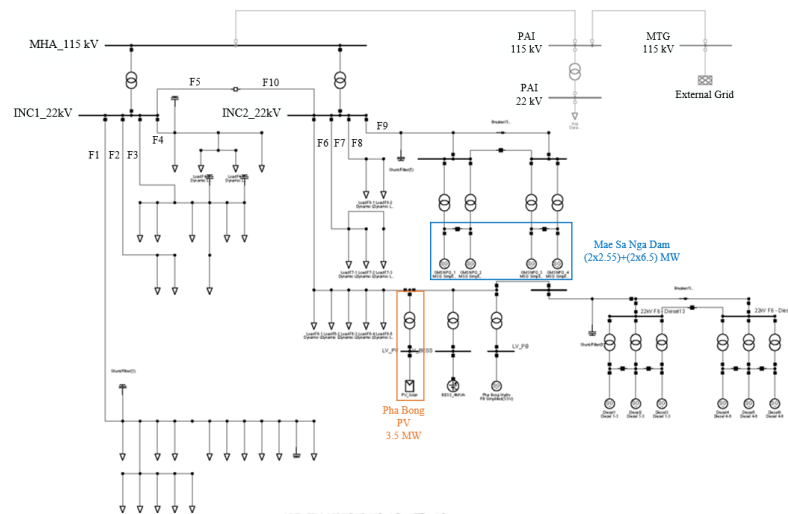
### 3.3 ปัญหาค่าความเฉื่อยต่ำของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน พิจารณาจากความเป็ยงเบนของความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 0.69 วินาที ซึ่งเมื่อโหลดและกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดความผันผวนจะก่อให้เกิดความเป็ยงเบนของความถี่ขึ้นได้ง่าย ดังนั้น เราจึงวิเคราะห์ผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อความเป็ยงเบนของความถี่ โดยพิจารณาความละเอียดของข้อมูลความผันผวนสูงสุดราย 10 วินาที ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กรณี คือ 1. กรณีความผันผวนของโหลดสูงสุด 2. กรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องสูงสุด และ 3. กรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องสูงสุด โดยแต่ละกรณีมีรูปแบบของแบบจำลองระบบดังรูปที่ 3.19 – รูปที่ 3.20 ตามลำดับ



รูปที่ 3.19 แบบจำลองของระบบในการพิจารณาผลกระทบจากความผันผวนของโหลด

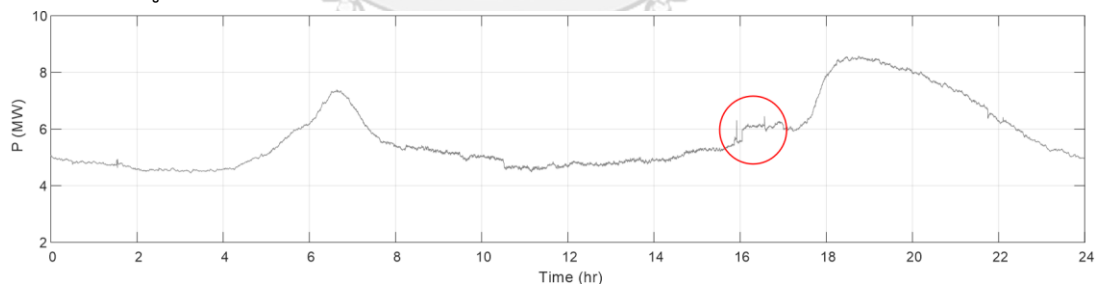




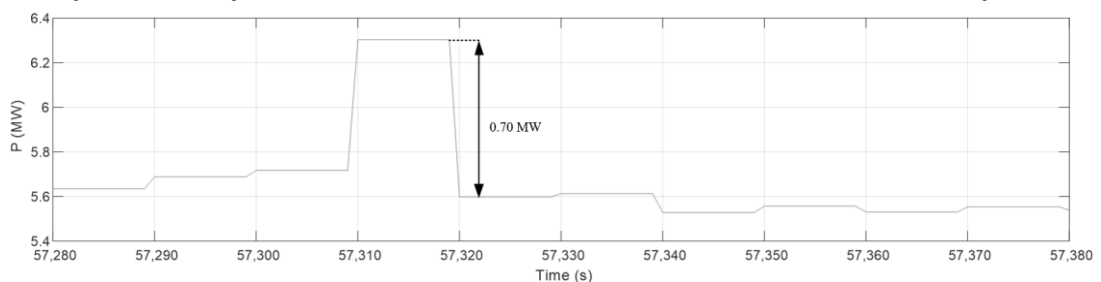
รูปที่ 3.20 แบบจำลองของระบบในการพิจารณาผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องและผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง

### 3.3.1 ผลกระทบจากความผันผวนของโหลดต่อความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบ

ความละเอียดของข้อมูลความผันผวนของโหลดที่มีความผันผวนมากที่สุดจากชุดข้อมูล ทั้งหมด คือ วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 ดังรูปที่ 3.21 (วงกลมสีแดง) ช่วงวินาทีที่ 57310 ถึง 57320 เกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดลดลงจาก 6.30 เมกะวัตต์ เป็น 5.60 เมกะวัตต์ ภายใน 10 วินาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.22

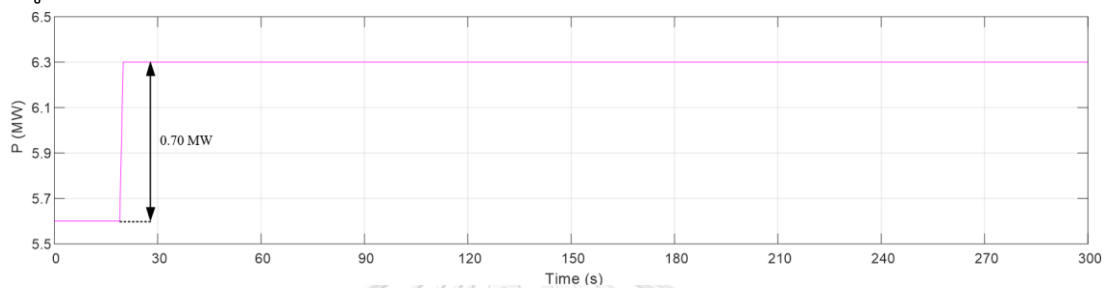


รูปที่ 3.21 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 ที่มีความผันผวนสูงสุด

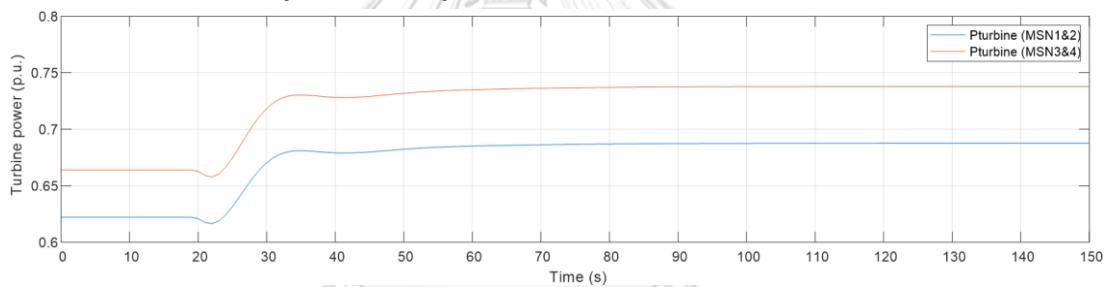


รูปที่ 3.22 ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 ช่วงวินาทีที่ 57280 ถึง 57380

เมื่อความผันผวนของโหลดลดลงจาก 6.30 เมกะวัตต์ ในวินาทีที่ 57310 เป็น 5.60 เมกะวัตต์ ในวินาทีที่ 57320 ภายใน 10 วินาที โดยในการพิจารณานี้จะแสดงในมุมมองของความผันผวนของโหลดเพิ่มขึ้น 0.7 เมกะวัตต์ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ดังรูปที่ 3.23 ซึ่งผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นกำลังกังหันจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างช้า ดังรูปที่ 3.24 รวมถึงแรงบิดทางกลหรือกำลังทางกลที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของโหลดได้ช้ากว่าแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.25 – รูปที่ 3.26 ส่งผลให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุด 10.47 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 3.27

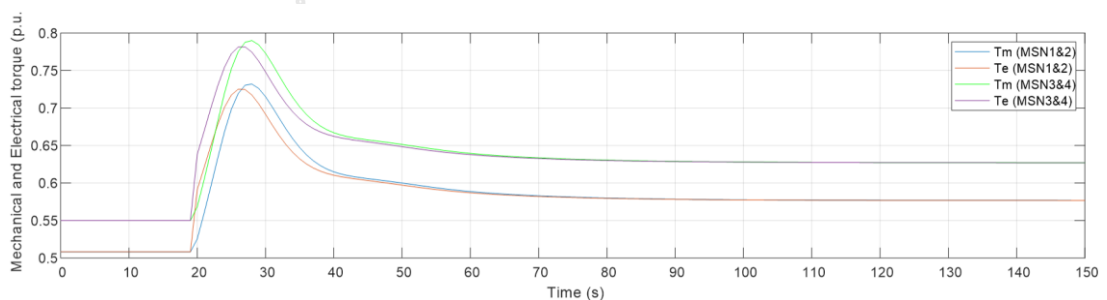


รูปที่ 3.23 ข้อมูลโหลดความผันผวน 0.7 เมกะวัตต์



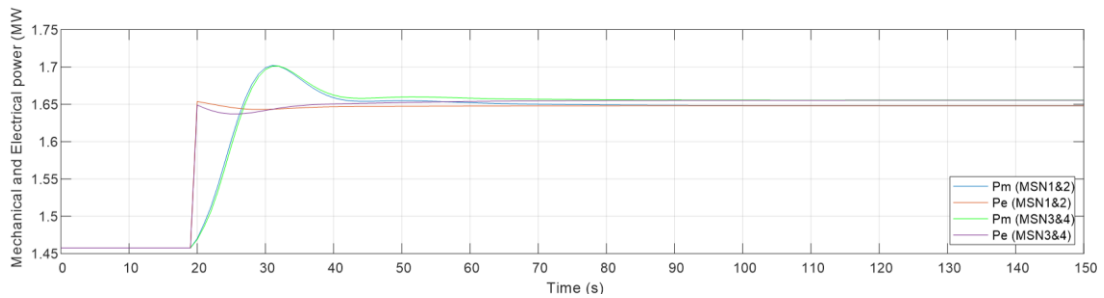
รูปที่ 3.24 กำลังกังหันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์



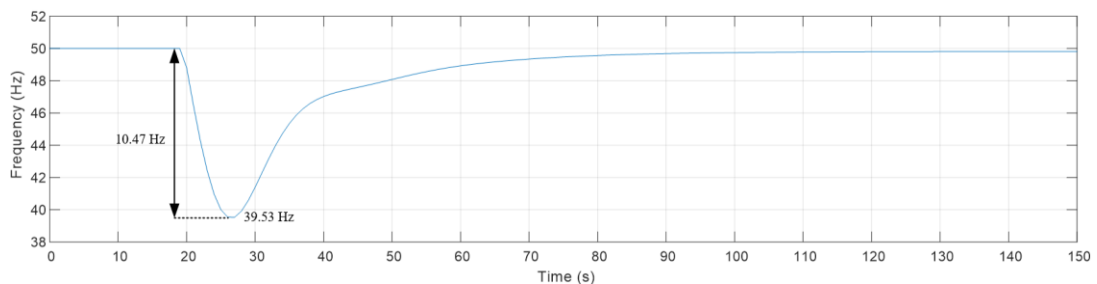
รูปที่ 3.25 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์



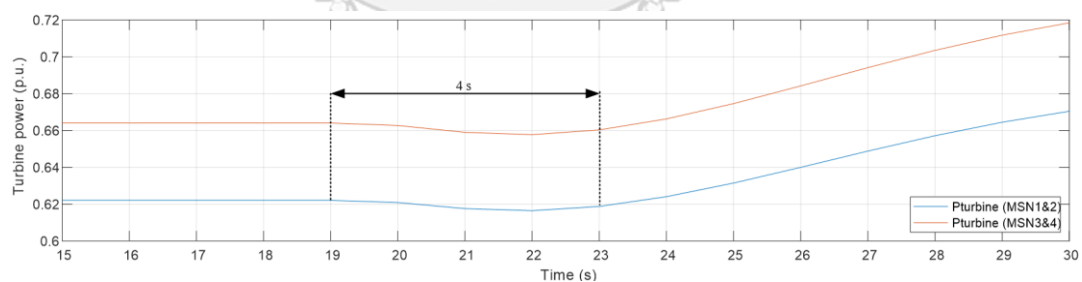
รูปที่ 3.26 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์



รูปที่ 3.27 ความถี่ของระบบ เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของความผันผวนของโหลดที่มีความละเอียดราย 10 วินาที จะมีช่วงเวลาของการตอบสนองของความถี่ที่สามารถประมาณได้จากเวลาที่กำลังกักหนามีกำลังผลิตที่หรือก่อนระบบควบคุมกักหนจะเปลี่ยนแปลงกำลังตามความผันผวนของโหลดประมาณ 4 วินาที ดังรูปที่ 3.28 ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาที่นำไปพิจารณาเพื่อวิเคราะห์หาค่าความถี่โดยรวมของระบบที่เหมาะสมของระบบต่อไป

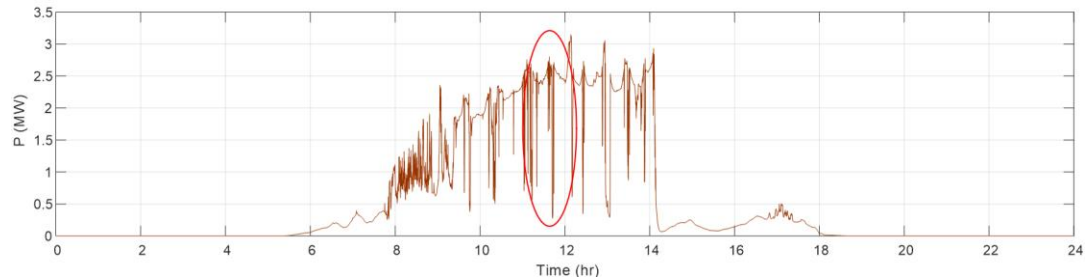


รูปที่ 3.28 กำลังกักหนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ช่วงการตอบสนองของความถี่

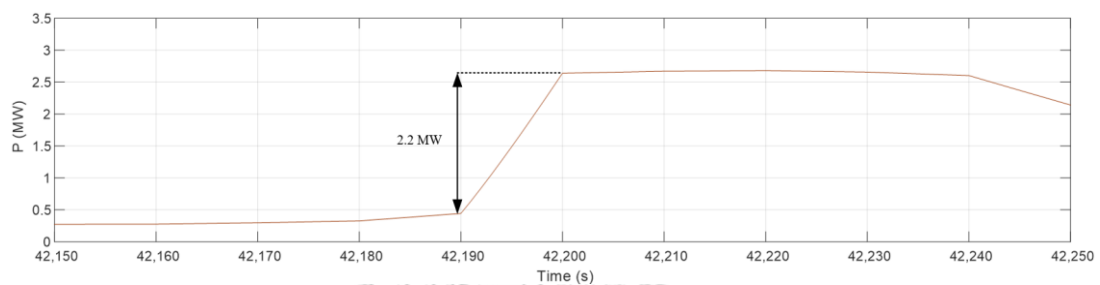
### 3.3.2 ผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบ

จากข้อมูลการตรวจวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง ปี 2559 จำนวน 42 วัน [7] พบว่าวันที่ 26 มิถุนายน 2559 มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องสูงสุดที่มีความละเอียดราย 10 วินาที ซึ่งเมื่อจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนตลอด 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.29 ในช่วงวินาทีที่ 41290 ถึง 42220 มีความ

ผันผวนสูงสุดอยู่ที่ 2.2 เมกะวัตต์ ภายใน 10 วินาที หรือกล่าวได้ว่ามีความผันผวนประมาณ 0.22 เมกะวัตต์ต่อวินาที ในช่วง 10 วินาทีดังกล่าว ดังรูปที่ 3.30

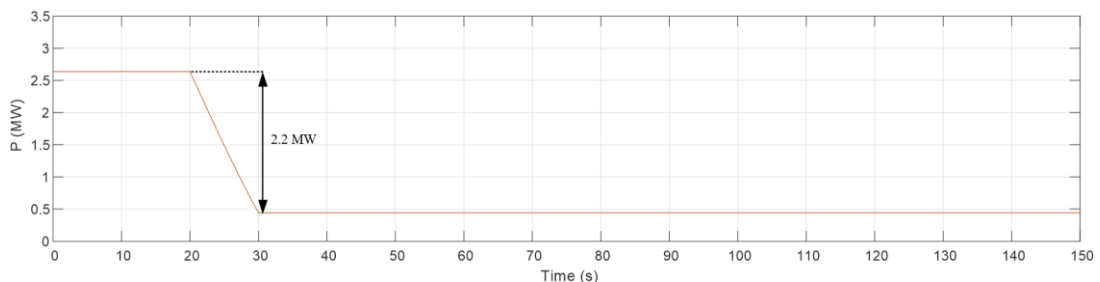


รูปที่ 3.29 ข้อมูลกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ราย 10 วินาที ที่มีความผันผวนสูง

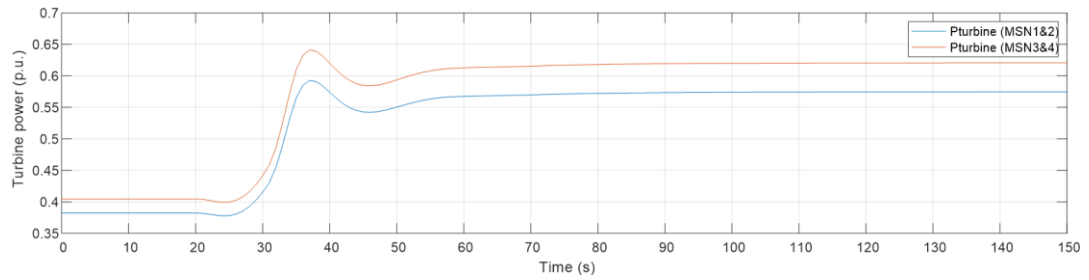


รูปที่ 3.30 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงวินาทีที่ 42150 ถึง 42250

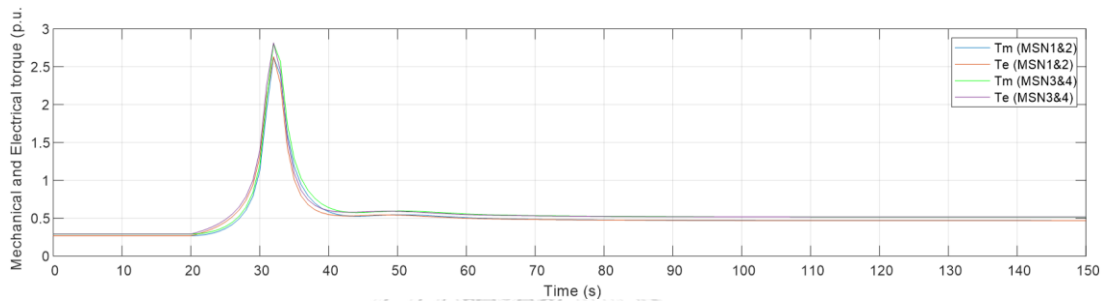
สำหรับความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นในระบบเปรียบเสมือนความผันผวนของโหลดลดลง ซึ่งเพื่อให้สอดคล้องกับความเข้าใจและการพิจารณาจะเปลี่ยนจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 2.2 เมกะวัตต์เป็นความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงหรือเปรียบเสมือนโหลดที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3.31 ซึ่งผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นกำลังกักเก็บจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างช้า ดังรูปที่ 3.32 รวมถึงแรงบิดทางกลหรือกำลังทางกลที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่งได้ช้ากว่าแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.33 – รูปที่ 3.34 ถึงแม้ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่งจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะลาดเอียงก็ตาม ส่งผลให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด 41.37 เฮิรตซ์ เหลือ 8.63 เฮิรตซ์ ดังรูปที่ 3.35



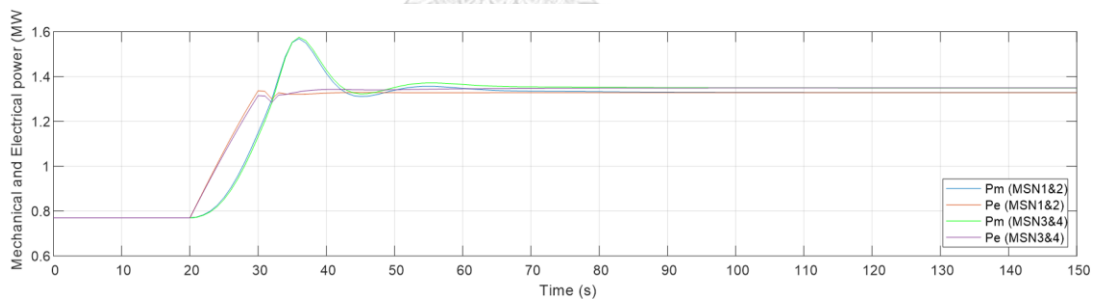
รูปที่ 3.31 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความผันผวน 2.2 เมกะวัตต์



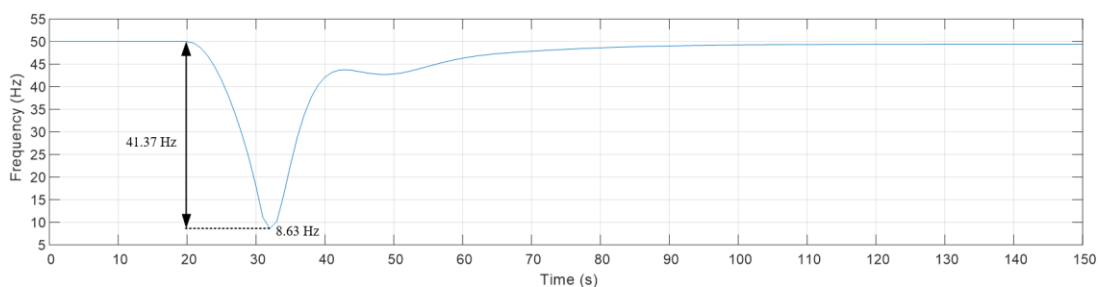
รูปที่ 3.32 กำลังกังหันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์



รูปที่ 3.33 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์



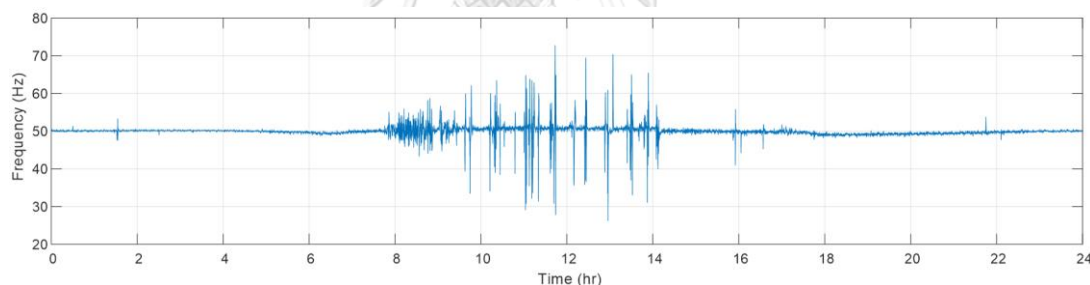
รูปที่ 3.34 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์



รูปที่ 3.35 ความถี่ของระบบ เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์  
2.2 เมกะวัตต์

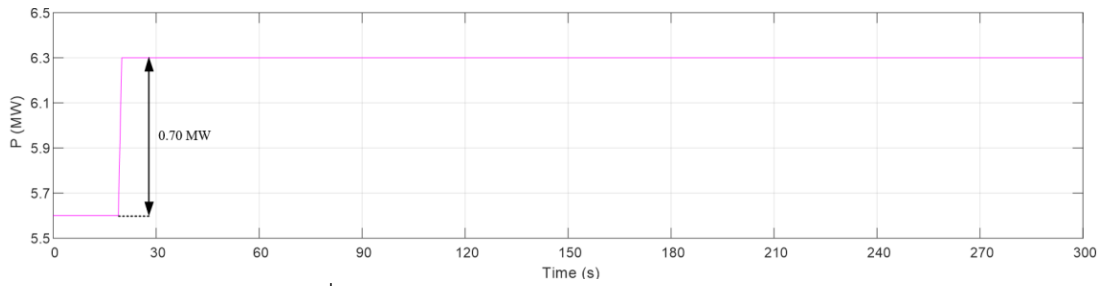
### 3.3.3 ผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบ

เมื่อความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่องสูงสุดที่มีความละเอียดราย 10 วินาที จำลองระบบร่วมกับโหลดของวันที่ 11 พฤศจิกายน 2559 ที่มีความละเอียดราย 10 วินาที จะสังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่องมากจะส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 3.36

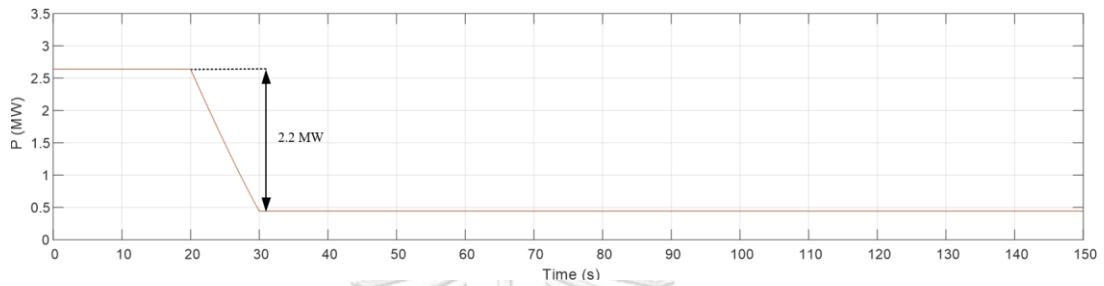


รูปที่ 3.36 ความถี่ของระบบ ในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561

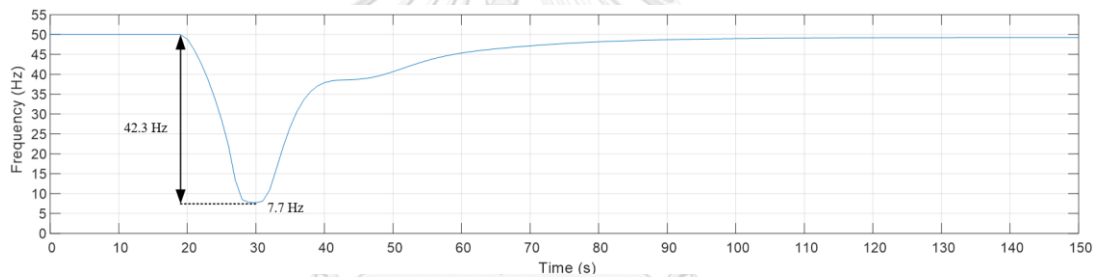
เมื่อความผันผวนของโหลดลดลง 0.70 เมกะวัตต์ ดังรูปที่ 3.37 เกิดขึ้นพร้อมกันกับความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่องเพิ่มขึ้น 2.2 เมกะวัตต์ ดังรูปที่ 3.38 ณ เวลาเดียวกัน ความผันผวนดังกล่าวจะมีลักษณะเสริมกันเสมือนโหลดเพิ่มขึ้น 2.9 เมกะวัตต์ ส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบ ดังรูปที่ 3.39 มีความเบี่ยงเบนของความถี่ 42.3 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดที่ 7.7 เฮิร์ตซ์ โดยที่กำลังกักเก็บของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ทั้ง 4 โรงก็ยังคงเปลี่ยนแปลงช้า ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ไวกว่าความผันผวนของทั้งสองปัจจัยได้เช่นเดิม ดังรูปที่ 3.40 ในเชิงแรงบิดทางกลก็เช่นกันที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามแรงบิดไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 3.41 หรือในเชิงกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าในรูปที่ 3.42 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงแล้วแต่กำลังทางกลยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทัน ส่งผลให้ความถี่ลดลง



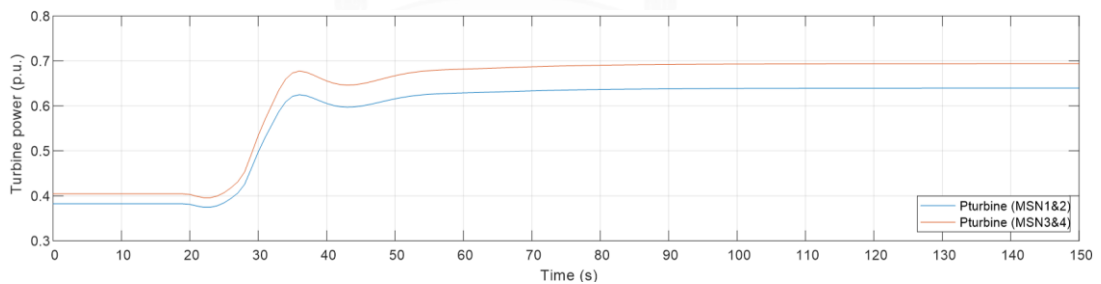
รูปที่ 3.37 ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์



รูปที่ 3.38 ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์

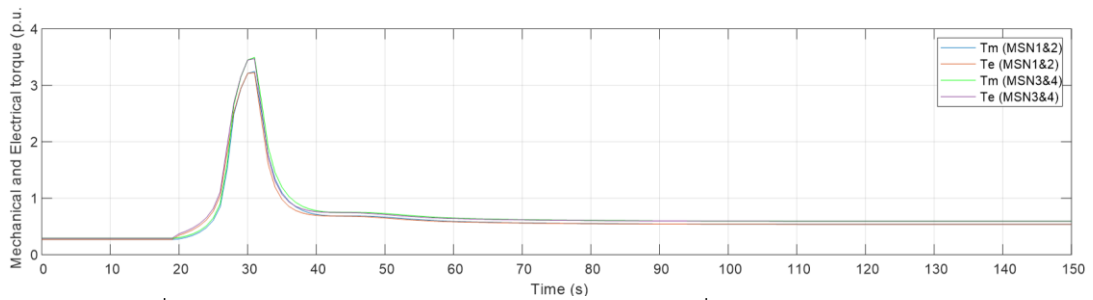


รูปที่ 3.39 ความถี่ของระบบ เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

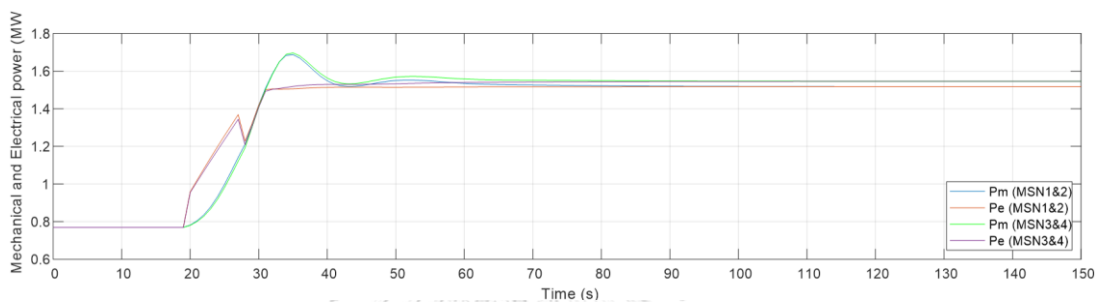


รูปที่ 3.40 กำลังกักเก็บไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.41 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.42 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 – 4 เมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการจำลองระบบเมื่อระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนกลายเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กจะเห็นได้ว่าในระบบมีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที ควรเลือกใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากจึงจะเหมาะสมในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับความถี่ที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้เมื่อระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบ ทำให้ความถี่เบี่ยงเบนเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในระบบอาจก่อให้เกิดปัญหาไฟดับหรือไม่มีไฟฟ้าใช้ได้



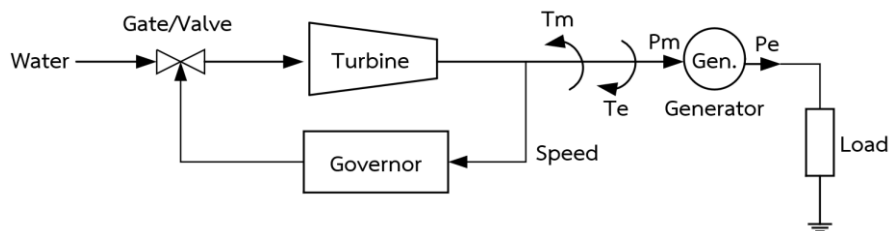
## บทที่ 4

### ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย

สำหรับบทนี้จะเน้นความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส การตอบสนองของความเฉื่อย สมการการแกว่งและสมการการแกว่งของระบบ ที่ควรทราบก่อนที่จะวิเคราะห์ในบทถัดไป

#### 4.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โดยทั่วไปแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจะทำหน้าที่ควบคุมความถี่ของระบบ มีรูปแบบพื้นฐาน ดังรูปที่ 4.1 [12] ซึ่งการควบคุมความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะเป็นการตอบสนองอัตโนมัติต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่ประกอบด้วย 2 ช่วงการตอบสนองคือการตอบสนองของความเฉื่อย (Inertia response) และการตอบสนองปฐมภูมิ (Primary response)



รูปที่ 4.1 แบบจำลองพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

#### 4.2 การตอบสนองของความเฉื่อย (Inertia response)

โรงไฟฟ้าแบบเดิมอาศัยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีมวลหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสในการผลิตไฟฟ้าและควบคุมเสถียรภาพของระบบ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะรักษาความสมดุลของกำลังงานระหว่างกำลังทางกลด้านเข้า (จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า) และกำลังทางไฟฟ้าด้านออก (ที่จ่ายให้กับโหลด) โดยอาศัยการปรับกำลังด้านเข้าที่มาจากแหล่งผลิตไฟฟ้า เช่น ด้วยการปรับวาล์วควบคุมปริมาณน้ำของกังหันน้ำเพื่อรักษาให้ระบบกลับคืนสู่สมดุล แต่การปรับกำลังทางกลจากแหล่งผลิตนั้นไม่สามารถทำได้ทันทีทันใดตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด ในช่วงเวลาดังกล่าวจึงเกิดความไม่สมดุลระหว่างกำลังงานกลจากแหล่งผลิตและกำลังไฟฟ้าด้านออก ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องอาศัยกำลังงานกลที่มาจากโรเตอร์หรือสะสมพลังงานจลน์ที่อยู่ในมวลหมุน (โรเตอร์) ตามสมการที่ (4.2.1) ในการชดเชยกำลังผลิตเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งพฤติกรรมเช่นนี้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะเรียกว่า “Inertia response” หรือ “การตอบสนองของ

ความเฉื่อย” ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในทันทีเมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ และทำให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสหรือความถี่ของระบบเปลี่ยนแปลง [12]

$$E_k = \frac{J\omega_m^2}{2} \quad (4.2.1)$$

- เมื่อ  $E_k$  คือ พลังงานจลน์สะสม (เมกะจูล)  
 $J$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลหมุน (กิโลกรัมเมตรกำลังสอง)  
 $\omega_m$  คือ ความเร็วเชิงมุมของมวลหมุน ณ เวลานั้น ๆ (เรเดียนต่อวินาที)

อย่างไรก็ตามปัจจุบันเริ่มมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนโดยทั่วไปจะอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการผลิตกำลังไฟฟ้า ดังนั้นโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนโดยทั่วไปจึงไม่มีมวลหมุนเหมือนอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส อาจกล่าวได้ว่าโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนโดยทั่วไปจะไม่มีพลังงานจลน์สะสมหรือไม่มีความเฉื่อย

#### 4.3 สมการการแกว่ง (Swing equation)

สมการการแกว่งสามารถอธิบายและสะท้อนพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างแรงบิดทางกล (Mechanical torque) และแรงบิดทางไฟฟ้า (Electrical torque) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแต่ละตัว [12] ณ ขณะเวลานั้น ๆ ดังแสดงในสมการที่ (4.3.1)

$$J_i \frac{d\omega_{m,i}}{dt} = T_{m,i} - T_{e,i} \quad (4.3.1)$$

- เมื่อ  $J_i$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (กิโลกรัมเมตรกำลังสอง)  
 $\omega_{m,i}$  คือ ความเร็วเชิงมุมทางกลของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (เรเดียนต่อวินาที)  
 $T_{m,i}$  คือ แรงบิดทางกลของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (นิวตันเมตร)  
 $T_{e,i}$  คือ แรงบิดทางไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (นิวตันเมตร)

ความไม่สมดุลระหว่างแรงบิดข้างต้นส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมหรือความถี่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมนี้จะไม่ได้เปลี่ยนแปลงโดยทันทีทันใดจะขึ้นอยู่กับความเฉื่อยรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องต้นกำลังที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุม สมการที่ (4.3.1) สามารถเขียนในรูปของกำลังงานได้ดังสมการที่ (4.3.2)

$$J_i \omega_m \frac{d\omega_{m,i}}{dt} = T_{m,i} \omega_{m,i} - T_{e,i} \omega_{m,i} \quad (4.3.2)$$

โดยสมการที่ (4.3.2) สามารถเปลี่ยนผลคูณระหว่างแรงบิดและความเร็วเชิงมุมเป็นกำลังจริงได้จากความสัมพันธ์  $P = T\omega$  และความเร็วเชิงมุมทางกลสามารถเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าจากความสัมพันธ์  $\omega_m = \frac{\omega_e}{2}$  ดังสมการที่ (4.3.3) – (4.3.6)

นำ  $\frac{P_i}{2}$  คูณในสมการที่ (4.3.2)

$$\frac{P_i}{2} J_i \omega_{m,i} \frac{d\omega_{m,i}}{dt} = \frac{P_i}{2} (P_{m,i} - P_{e,i}) \quad (4.3.3)$$

$$J_i \omega_{m,i} \frac{d\omega_{e,i}}{dt} = \frac{P_i}{2} (P_{m,i} - P_{e,i}) \quad (4.3.4)$$

$$\frac{2}{P_i} J_i \omega_{e,i} \frac{d\omega_{e,i}}{dt} = \frac{P_i}{2} (P_{m,i} - P_{e,i}) \quad (4.3.5)$$

$$\left(\frac{2}{P_i}\right)^2 J_i \omega_{e,i} \frac{d\omega_{e,i}}{dt} = P_{m,i} - P_{e,i} \quad (4.3.6)$$

เมื่อ  $P_i$  คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (ขั้ว)

$\omega_{e,i}$  คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (เรเดียนต่อวินาที)

$P_{m,i}$  คือ กำลังทางกลของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (เมกะวัตต์)

$P_{e,i}$  คือ กำลังทางไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (เมกะวัตต์)

ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia constant, H) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานจลน์สะสม ณ ความเร็วพิกัดต่อกำลังพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ดังนิยามในสมการที่ (4.3.7) – (4.3.8)

ค่าคงที่ความเฉื่อยยังแสดงถึงระยะเวลาที่พลังงานจลน์สะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถถ่ายโอนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยกำลังพิกัดหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นระยะเวลาที่ความถี่จะลดลงจากความถี่ซิงโครนัสกระทั่งเหลือศูนย์ ซึ่งค่าคงที่ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้น การที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยมากจะส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมหรือความถี่เป็นไปได้ยากและใช้เวลานานในการเปลี่ยนแปลง

$$H_i = \frac{E_{k,i}}{P_{i, \text{rated}}} = \frac{J_i \omega_{m,i, \text{rated}}^2}{P_{i, \text{rated}}} \quad (4.3.7)$$

$$H_i = \frac{J_i \omega_{e,i, \text{rated}}^2}{P_{i, \text{rated}}} \left(\frac{2}{P_i}\right)^2 \quad (4.3.8)$$

เมื่อ  $H_i$  คือ ค่าคงที่ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

(วินาที หรือ เมกะจูลต่อเมกะวัตต์)

$E_{k,i}$  คือ พลังงานจลน์ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (เมกะจูล)

$P_{i, \text{rated}}$  คือ กำลังจริงพิกัดของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (เมกะวัตต์)

หมายเหตุ : โดยทั่วไปแล้วค่าคงที่ความเฉื่อยจะเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานจลน์สะสม ณ ความเร็วพิกัดต่อกำลังพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส แต่สำหรับโปรแกรม DigSILENT เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานจลน์สะสม ณ ความเร็วพิกัดต่อกำลังจริงพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

และโมเมนต์ความเฉื่อยมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ความเฉื่อย ดังสมการที่ (4.3.9)

$$J_i \omega_{e,i,rated} = \frac{2H_i P_{i,rated}}{\omega_{e,i,rated}} \left( \frac{P_i}{2} \right)^2 \quad (4.3.9)$$

นอกจากนี้ ยังสามารถจัดรูปสมการที่ (4.3.6) ใหม่ให้อยู่ในรูปของกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าในค่าต่อหน่วยได้ ดังสมการที่ (4.3.10) - (4.3.12) ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมการตอบสนองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสต่อการรบกวนที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลของกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าเป็นผลทำให้ความเร็วของมวลหมุนเดิมซึ่งหมุนอยู่ที่ความเร็วซิงโครนัสเกิดการเปลี่ยนแปลง

$$\left( \frac{2}{P_i} \right) \left( \frac{2H_i P_{i,rated}}{\omega_{e,i,rated}} \right) \left( \frac{P_i}{2} \right) \frac{d\omega_{e,i}}{dt} = P_{m,i} - P_{e,i} \quad (4.3.10)$$

$$\frac{2H_i P_{i,rated}}{\omega_{e,i,rated}} \frac{d\omega_{e,i}}{dt} = P_{m,i} - P_{e,i} \quad (4.3.11)$$

$$2H_i \frac{d\omega_{e,i,p.u.}}{dt} = P_{m,i,p.u.} - P_{e,i,p.u.} \quad (4.3.12)$$

เมื่อ  $\omega_{e,i,p.u.}$  คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (ค่าต่อหน่วย)

$P_{m,i,p.u.}$  คือ กำลังทางกลของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (ค่าต่อหน่วย)

$P_{e,i,p.u.}$  คือ กำลังทางไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (ค่าต่อหน่วย)

#### 4.4 สมการการแกว่งของระบบ (Swing equation aggregated)

โดยทั่วไป หากในระบบไฟฟ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสมากกว่า 1 ตัว เราสามารถคาดการณ์พฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบได้ จากสมการการแกว่งของระบบ โดยการรวมสมการการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสทุกตัวในระบบให้เสมือนมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง ดังสมการที่ (4.4.1) - (4.4.3)

$$\sum_{i=1}^n \left( 2H_i \frac{d\omega_{e,i,p.u.}}{dt} \right) = \sum_{i=1}^n (P_{m,i,p.u.} - P_{e,i,p.u.}) \quad (4.4.1)$$

$$\sum_{i=1}^n \left( 2H_i P_{i,rated} \frac{d\omega_{e,i,p.u.}}{dt} \right) = \sum_{i=1}^n (P_{m,i,p.u.} P_{i,rated} - P_{e,i,p.u.} P_{i,rated}) \quad (4.4.2)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left( 2H_i P_{i,rated} \frac{d\omega_{e,i,p.u.}}{dt} \right)}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{m,i,p.u.} P_{i,rated} - P_{e,i,p.u.} P_{i,rated})}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.3)$$

นิยามความถี่ของระบบ ( $\bar{\omega}_e$ ) ดังสมการที่ (4.4.4)

$$\bar{\omega}_e \triangleq \frac{\sum_{i=1}^n H_i P_{i,rated} \omega_{e,i,p.u.}}{\sum_{i=1}^n H_i P_{i,rated}} \quad (4.4.4)$$

จัดรูปสมการที่ (4.4.3) ใหม่ ได้ดังสมการที่ (4.4.5)

$$\frac{2}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \frac{d}{dt} \left( \sum_{i=1}^n (H_i P_{i,rated} \bar{\omega}_e) \right) = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{m,i,p.u.} P_{i,rated})}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{e,i,p.u.} P_{i,rated})}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.5)$$

แทนนิยามความถี่ของระบบในสมการที่ (4.4.5)

$$\frac{2}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \frac{d}{dt} \left( \bar{\omega}_e \sum_{i=1}^n (H_i P_{i,rated}) \right) = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{m,i,p.u.} P_{i,rated})}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{e,i,p.u.} P_{i,rated})}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.6)$$

นิยามค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ( $H_{sys}$ ) ดังสมการที่ (4.4.7)

$$H_{sys} \triangleq \frac{\sum_{i=1}^n H_i P_{i,rated}}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.7)$$

นอกจากนี้ ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบสามารถพิจารณาจากโมเมนต์ความเฉื่อยรวมของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน

นิยามโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ( $J'_i$ ) ดังสมการที่ (4.4.8)

$$J'_i \triangleq J_i \times \left( \frac{2}{P_i} \right)^2 \quad (4.4.8)$$

ดังนั้น นิยามโมเมนต์ความเฉื่อยรวมของระบบ ( $J_{sys}$ ) ดังสมการที่ (4.4.9)

$$J_{sys} \triangleq \sum_{i=1}^n J'_i = \sum_{i=1}^n J_i \times \left( \frac{2}{P_i} \right)^2 \quad (4.4.9)$$

โดยค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบคิดคำนวณได้จากสมการที่ (4.4.10) – (4.4.12)

$$H_{sys} = \frac{E_{k,sys}}{P_{sys}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{k,i}}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.10)$$

$$H_{sys} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{k,i}}{\sum_{i=1}^n P_{i,rated}} = \frac{\sum_{i=1}^n J_i \omega_{m,i,rated}^2}{2 \sum_{i=1}^n P_{i,rated}} = \frac{\sum_{i=1}^n J_i' \omega_{e,i,rated}^2}{2 \sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.11)$$

$$H_{sys} = \frac{\omega_{e,i,rated}^2 \sum_{i=1}^n J_i'}{2 \sum_{i=1}^n P_{i,rated}} \quad (4.4.12)$$

โดยที่  $\omega_{e,i,rated} = 2\pi(50) = 100\pi \text{ (rad / s)}$

ดังนั้น สมการการแกว่งของระบบเป็นดังสมการที่ (4.4.13) ในค่าต่อหน่วย

$$2H_{sys} \frac{d\omega_e}{dt} = P_{m,sys,p.u.} - P_{e,sys,p.u.} \quad (4.4.13)$$

เมื่อ  $P_{m,sys,p.u.}$  คือ กำลังทางกลรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในระบบ (ค่าต่อหน่วย)

$P_{e,sys,p.u.}$  คือ กำลังทางไฟฟ้ารวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในระบบ (ค่าต่อหน่วย)

ทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาภายในระบบไฟฟ้าขนาด เล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ในด้านผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตจาก โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องที่มีต่อความถี่ของระบบและในการพิจารณาค่าความถี่ที่เหมาะสมหรือจำเป็นต่อระบบไฟฟ้าขนาดเล็ของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนในกรณีที่ต้องการควบคุมให้ คุณภาพความถี่อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนด รวมถึงในการพิจารณาแนวทางการประยุกต์ใช้ ทรัพยากรในพื้นที่เพื่อเพิ่มความถี่ให้กับระบบ ในลำดับถัดไป

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนด้วยสมการการแกว่งของระบบ

สำหรับในบทนี้จะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมด้วยสมการการแกว่งของระบบ การแก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่และเกณฑ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ

#### 5.1 การวิเคราะห์ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

เมื่อระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าให้ได้ตามความต้องการใช้ไฟภายในระบบส่งผลให้ในระบบมีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 0.69 วินาที ซึ่งจากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบดังกล่าวไม่สามารถช่วยรักษาความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องขึ้น ดังนั้น เมื่อเราทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนแล้วลำดับถัดมาในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาในช่วงการตอบสนองของความถี่ว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนควรที่จะมีค่าเท่าไรจึงจะเพียงพอต่อการช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จะพิจารณาค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมจากโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ดังสมการที่ (5.1.1) – (5.1.2)

จากสมการที่ (4.4.13) สามารถหาโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบได้ดังนี้

$$2 \left( \frac{\omega_{e,i,\text{rated}}^2 \sum_{i=1}^n J_i'}{2 \sum_{i=1}^n P_{i,\text{rated}}} \right) \frac{d\bar{\omega}_e}{dt} = \frac{P_{m,\text{sys}}}{\sum_{i=1}^n P_{i,\text{rated}}} - \frac{P_{e,\text{sys}}}{\sum_{i=1}^n P_{i,\text{rated}}} \quad (5.1.1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i' = \frac{P_{m,\text{sys}} - P_{e,\text{sys}}}{\omega_{e,i,\text{rated}}^2} \frac{d\bar{\omega}_e}{dt} \quad (5.1.2)$$

ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาจำนวน 4 โรง ที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที หรือกล่าวได้ว่ามีโมเมนต์

ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง สามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$J'_i = \frac{2H_i P_{i, rated}}{\omega_{e,i, rated}^2}$$

โมเมนต์ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2

$$J'_1 = \frac{2(0.67)(2.86875 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 38.95 \text{ kgm}^2$$

$$J'_2 = \frac{2(0.67)(2.86875 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 38.95 \text{ kgm}^2$$

โมเมนต์ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4

$$J'_3 = \frac{2(0.7125)(2.65 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 38.26 \text{ kgm}^2$$

$$J'_4 = \frac{2(0.7125)(2.65 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 38.26 \text{ kgm}^2$$

โมเมนต์ความเฉื่อยรวมของระบบ

$$\sum_{i=1}^n J'_i = 38.95 + 38.95 + 38.26 + 38.26 = 154.42 \text{ kgm}^2$$

เมื่อทราบแล้วว่าในระบบมีโมเมนต์ความเฉื่อยรวมของระบบเท่ากับ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ลำดับถัดไปจะชี้ให้เห็นว่าหากในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบหรือโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบนั้นควรที่จะมีค่าเท่าไรและค่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ที่ได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาทั้ง 4 โรง เพียงพอเพื่อรักษาให้ความถี่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่

### 5.1.1 ค่าคงที่ความเฉื่อยที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด

โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมในการช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ดังนี้

กำหนดให้

- |   |     |           |
|---|-----|-----------|
| - ความถี่ทางไฟฟ้า ( $f_e$ )   | 50  | เฮิรตซ์   |
| - กำลังจริงทางกลของระบบ (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทัน) ( $P_{m,sys}$ ) | 0   | เมกะวัตต์ |
| - กำลังจริงทางไฟฟ้าของระบบที่เปลี่ยนแปลง ( $P_{e,sys}$ )                            | 0.7 | เมกะวัตต์ |
| - ช่วงเวลาการตอบสนองของความเฉื่อย   | 4   | วินาที    |



- การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ต้องการในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย

0.5 เฮิรตซ์

จากสมการที่ (5.1.2)

$$\sum_{i=1}^n J_i' = \frac{0.7 \times 10^6}{(2\pi 50)^2 \left( \frac{0.5}{\frac{50}{4}} \right)} = 2837 \text{ kgm}^2$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าหากเกิดความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนควรมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 2837 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเป็นค่าที่คาดว่าจะช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.1.2 ค่าคงที่ความเฉื่อยที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมในการช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ แต่ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นแบบลาดเอียง กล่าวคือความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่งจะช้ากว่าความผันผวนของโหลด ดังนั้น ความผันผวน 2.2 เมกะวัตต์ ของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เทียบเท่ากับโหลดเปลี่ยน 0.22 เมกะวัตต์ต่อ 1 วินาที หรือเปลี่ยนแปลง 0.44 เมกะวัตต์ ในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ดังนี้

กำหนดให้

- |   |      |           |
|---|------|-----------|
| - ความถี่ทางไฟฟ้า ( $f_e$ )   | 50   | เฮิรตซ์   |
| - กำลังจริงทางกลของระบบ (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทัน) ( $P_{m,sys}$ ) | 0    | เมกะวัตต์ |
| - กำลังจริงทางไฟฟ้าของระบบที่เปลี่ยนแปลง ( $P_{e,sys}$ )                            | 0.44 | เมกะวัตต์ |
| - ช่วงเวลาการตอบสนองของความเฉื่อย   | 4    | วินาที    |
| - การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ต้องการในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย                      | 0.5  | เฮิรตซ์   |

จากสมการที่ (5.1.2)

$$\sum_{i=1}^n J_i' = \frac{0.44 \times 10^6}{(2\pi 50)^2 \left( \frac{0.5}{\frac{50}{4}} \right)} = 1783.25 \text{kgm}^2$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าหากเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนควรมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 1783.25 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งคาดว่าจะช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.1.3 ค่าคงที่ความเฉื่อยที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมในการช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งความผันผวนทั้งสองนี้มีลักษณะที่เสริมกันจึงเสมือนในระบบมีความผันผวนของโหลดเพิ่มขึ้น สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ดังนี้

กำหนดให้

- |   |      |           |
|---|------|-----------|
| - ความถี่ทางไฟฟ้า ( $f_e$ )   | 50   | เฮิรตซ์   |
| - กำลังจริงทางกลของระบบ (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทัน) ( $P_{m,sys}$ ) | 0    | เมกะวัตต์ |
| - กำลังจริงทางไฟฟ้าของระบบที่เปลี่ยนแปลง ( $P_{e,sys}$ )                            | 1.14 | เมกะวัตต์ |
| - ช่วงเวลาการตอบสนองของความเฉื่อย   | 4    | วินาที    |
| - การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ต้องการในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย                      | 0.5  | เฮิรตซ์   |

จากสมการที่ (5.1.2)

$$\sum_{i=1}^n J_i' = \frac{1.14 \times 10^6}{(2\pi 50)^2 \left( \frac{0.5}{\frac{50}{4}} \right)} = 4620.25 \text{kgm}^2$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าหากเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอ

เมืองแม่ฮ่องสอนควรมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 4620.25 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งคาดว่าจะช่วยรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าหากในระบบมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเพียงอย่างเดียวมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบไม่เพียงพอต่อความต้องการโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบที่จะช่วยรักษาความถี่ของระบบเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามภายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนยังมีโรงไฟฟ้าอื่น ๆ ในพื้นที่อีก ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งเราสามารถนำมาใช้เพิ่มค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบได้ ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

## 5.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่

ภายในพื้นที่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนในขณะที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง เป็นแหล่งผลิตส่งผลให้ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบมีค่าเท่ากับ 0.69 วินาที หรือโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อการรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจึงมีแนวทางในการเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 3.85 เมกะวัตต์ (ในอนาคต) มีค่าคงที่ความเฉื่อยเท่ากับ 0.67 วินาที และโรงไฟฟ้าดีเซล จำนวน 6 โรง ขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวม 5.4 เมกะวัตต์ มีค่าคงที่ความเฉื่อยเท่ากับ 10 วินาที ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส สำหรับโรงไฟฟ้าดีเซลเราจะพิจารณาในการเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส ซึ่งหากในระบบมีโรงไฟฟ้าทั้งสองแห่งเพิ่มเข้ามา คาดการณ์ได้ว่าค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นและจะเพียงพอต่อการรักษาความถี่ของระบบ นอกจากนี้หากการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้ายังไม่เพียงพอ ในระบบยังมีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถช่วยให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด สามารถแสดงการคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เพิ่มขึ้นได้ดังนี้

### 5.2.1 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

เมื่อในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเพิ่มความเฉื่อยในระบบจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ส่งผลทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นจาก 154.42 เป็น 206.7 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง

โมเมนต์ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

$$J'_{PB} = \frac{2(0.67)(3.8505 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 52.28 \text{ kgm}^2$$

โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ

$$\sum_{i=1}^n J'_i = 154.42 + 52.28 = 206.7 \text{ kgm}^2$$

การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ส่งผลทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมในการลดผลกระทบต่อความถี่ที่เกิดขึ้นจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นในลำดับถัดไปจะเป็นการเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซล

## 5.2.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส

เมื่อในระบบเพิ่มความเฉื่อยจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โดยโรงไฟฟ้าดีเซลที่ 1 – 3 และโรงไฟฟ้าดีเซลที่ 4 – 6 จะมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน ดังนั้น โมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 1 – 3 เท่ากับ 202.64 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 4 – 6 เท่ากับ 162.11 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โมเมนต์ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซล โรงที่ 1 – 6

$$J'_{SynCon1} = \frac{2(10)(1 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 202.64 \text{ kgm}^2$$

$$J'_{SynCon2} = \frac{2(10)(1 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 202.64 \text{ kgm}^2$$

$$J'_{SynCon3} = \frac{2(10)(1 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 202.64 \text{ kgm}^2$$

$$J'_{SynCon4} = \frac{2(10)(0.8 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 162.11 \text{ kgm}^2$$

$$J'_{SynCon5} = \frac{2(10)(0.8 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 162.11 \text{ kgm}^2$$

$$J'_{SynCon6} = \frac{2(10)(0.8 \times 10^6)}{(2\pi 50)^2} = 162.11 \text{ kgm}^2$$

โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ

$$\sum_{i=1}^n J_i' = 154.42 + 52.28 + (3 \times 202.62) + (3 \times 162.11) = 1300.89 \text{ kgm}^2$$

การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสเพิ่มเติมจากการเพิ่มด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ส่งผลทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นแต่ยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมในการลดผลกระทบของความถี่ที่เกิดขึ้นจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมีแนวทางที่จะนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาช่วยเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบด้วยความเฉื่อยเสมือน เพื่อต้องการให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.2.3 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

จากการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบที่เพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสยังไม่เพียงพอต่อโมเมนต์ความเฉื่อยที่เหมาะสมในการรักษาความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้น จึงนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เข้ามาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยแบบจำลองระบบควบคุมความถี่แบบความเฉื่อยเสมือน ซึ่งความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในแต่ละกรณีความผันผวนสามารถคำนวณได้ ดังต่อไปนี้

#### 5.2.3.1 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด

จากการวิเคราะห์เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนควรมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 2837 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเมื่อในระบบมีความเฉื่อยที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัส มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 1300.89 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง จะเห็นได้ว่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบยังต้องการอีก 1536.11 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเป็นค่าที่เราจะนำมาเป็นค่าของความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ มีการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$H_{BESS} = \frac{J'_{BESS} \omega_{e, \text{rated}}^2}{2P_{BESS, \text{rated}}}$$

$$H_{BESS} = \frac{1536.11 \times (2\pi 50)^2}{2 \times 4 \times 10^6} = 18.95 \text{ s}$$

ในกรณีที่เกิดความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ จะต้องมีความเฉื่อยเสมือนเท่ากับ 18.95 วินาที ที่คาดว่าจะทำให้ความถี่ในระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.2.3.2 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนควรมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 1783.25 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเมื่อในระบบมีความเฉื่อยที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 1300.89 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง จะเห็นได้ว่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบยังต้องการอีก 482.36 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเป็นค่าที่เราจะนำมาเป็นค่าของความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ มีการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$H_{BESS} = \frac{J'_{BESS} \omega_{e, rated}^2}{2P_{BESS, rated}}$$

$$H_{BESS} = \frac{482.36 \times (2\pi 50)^2}{2 \times 4 \times 10^6} = 5.95 \text{ s}$$

ในกรณีที่เกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะต้องมีความเฉื่อยเสมือนเท่ากับ 5.95 วินาที ที่คาดว่าจะทำให้ความถี่ในระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.2.3.3 ความเฉื่อยเสมือนจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนควรมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 4620.25 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเมื่อในระบบมีความเฉื่อยที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 1300.89

กิโลกรัมเมตรกำลังสอง จะเห็นได้ว่าโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบยังต้องการอีก 3319.36 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งเป็นค่าที่เราจะนำมาเป็นค่าของความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ มีการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$H_{BESS} = \frac{J'_{BESS} \omega_{e, rated}^2}{2P_{BESS, rated}}$$

$$H_{BESS} = \frac{3319.36 \times (2\pi 50)^2}{2 \times 4 \times 10^6} = 40.95 \text{ s}$$

ในกรณีที่เกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะต้องมีความเฉื่อยเสมือนเท่ากับ 40.95 วินาที ที่คาดว่าจะทำให้ความถี่ในระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.3 การวิเคราะห์อัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงความถี่

อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ มีหน่วยคือเฮิร์ตซ์ต่อวินาทีเป็นค่าที่สะท้อนถึงพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย รวมถึงสะท้อนถึงค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบอีกด้วย โดยที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่มากสะท้อนถึงการที่ในระบบมีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบน้อย ในทางกลับกันการที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่น้อย สะท้อนถึงการที่ในระบบมีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบมาก ซึ่งค่าดังกล่าวนี้สามารถคำนวณหาได้จากสมการการแกว่งของระบบ ดังสมการที่ (5.3.1) – (5.3.4)

$$\frac{d\bar{\omega}_e}{dt} = \frac{P_{m, sys, p.u.} - P_{e, sys, p.u.}}{2H_{sys}} \quad (5.3.1)$$

$$\frac{d\omega_e}{dt} = \frac{P_{m, sys, p.u.} - P_{e, sys, p.u.}}{2H_{sys}} \times \omega_{e, rated} \quad (5.3.2)$$

$$\frac{d(2\pi f_e)}{dt} = \frac{P_{m, sys, p.u.} - P_{e, sys, p.u.}}{2H_{sys}} \times (2\pi f_{rated}) \quad (5.3.3)$$

$$ROCOF = \frac{df_e}{dt} = \frac{P_{m, sys, p.u.} - P_{e, sys, p.u.}}{2H_{sys}} \times f_{rated} \quad (5.3.4)$$

เมื่อ	$\bar{\omega}_e$	คือ ความถี่ของระบบ (ค่าต่อหน่วย)
	$P_{m, sys, p.u.}$	คือ กำลังทางกลรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในระบบ (ค่าต่อหน่วย)
	$P_{e, sys, p.u.}$	คือ กำลังทางไฟฟ้ารวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในระบบ (ค่าต่อหน่วย)
	$H_{sys}$	คือ ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ (วินาที)
	$\omega_e$	คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของระบบ (เรเดียนต่อวินาที)
	$\omega_{e, rated}$	คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าปกติของระบบ (เรเดียนต่อวินาที)

$f_e$  คือ ความถี่ของระบบ (เฮิรตซ์)

$f_{e,rated}$  คือ ความถี่พิกัดของระบบ (เฮิรตซ์)

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่จะเป็นตัวชี้วัดว่าการเพิ่มความถี่ในระบบของเราด้วยโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในพื้นที่เพียงพอและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ( $\pm 0.5$  เฮิรตซ์ต่อวินาที) หรือไม่ โดยเบื้องต้นก่อนการจำลองระบบด้วยโปรแกรม DIGSILENT เราสามารถประเมินเบื้องต้นได้จากสมการที่ (5.3.4) เป็นการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ในช่วงการตอบสนองของความถี่มีรายละเอียดในแต่ละกรณีเป็นดังต่อไปนี้

### 5.3.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด

ในกรณีที่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเกิดความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ความถี่ในระบบสามารถมาได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา และการเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโคโรนัส ซึ่งการเพิ่มความถี่ต่าง ๆ นั้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เปลี่ยนแปลงไป โดยรายละเอียดในการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงในการเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ว่าเพียงพอหรือไม่ สามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

#### 5.3.1.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อมีความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในกรณีความผันผวนของโหลด

ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความถี่ให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	11.0375	เมกะวัตต์	
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง	
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง	
- ความผันผวนของโหลด	0.7	เมกะวัตต์	
	หรือคิดเป็น	0.06	ค่าต่อหน่วย
- ค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	0.69	วินาที	
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง	
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง	

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -2.17 เฮิรตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ยังคงเกินขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่



$$ROCOF = \frac{0-0.06}{2 \times 0.69} \times 50 = -2.17 \text{ Hz} / s$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดที่ 0.7 เมกะวัตต์ โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง ในระบบ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.3.1.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในกรณีความผันผวนของโหลด

ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความถี่ให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	14.888	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	3.8505	เมกะวัตต์
- ความผันผวนของโหลด	0.7	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.047	ค่าต่อหน่วย
- ค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	0.685	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.67	วินาที

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -1.72 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ยังคงเกินขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่เช่นเดียวกัน

$$ROCOF = \frac{0-0.047}{2 \times 0.685} \times 50 = -1.72 \text{ Hz} / s$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดที่ 0.7 เมกะวัตต์ โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง ในระบบและการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นแต่ยังคงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเช่นเดิม

### 5.3.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส ในกรณีความผันผวนของโหลด

ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบ รวมถึงมีโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสเพื่อเพิ่มความเฉื่อยให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	20.288	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	3.8505	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 1-3	1	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 4-6	0.8	เมกะวัตต์/โรง
- ความผันผวนของโหลด	0.7	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.035	ค่าต่อหน่วย
- ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	3.16	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.67	วินาที
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 1-3	10	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 4-6	10	วินาที/โรง

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ  $-0.28$  เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้อยู่ในขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่แล้ว

$$ROCOF = \frac{0 - 0.035}{2 \times 3.16} \times 50 = -0.28 \text{ Hz} / s$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง และการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสนั้น สามารถช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดที่ 0.7 เมกะวัตต์

### 5.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในกรณีที่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ แต่ในช่วงการตอบสนองของความถี่ ระบบจะมองเห็นความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 0.44 เมกะวัตต์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นแบบลาดเอียง โดยความถี่ในระบบได้มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา และการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส ซึ่งการเพิ่มความถี่ต่าง ๆ นั้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เปลี่ยนแปลงไป โดยรายละเอียดในการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงในการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ว่าเพียงพอหรือไม่ จะพิจารณาเช่นเดียวกันกับความผันผวนของโหลด สามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

#### 5.3.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อมีความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความถี่ให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	11.0375	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
- ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง	0.44	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.04	ค่าต่อหน่วย
- ค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	0.69	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -1.45 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ยังคงเกินขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่

$$ROCOF = \frac{0-0.04}{2 \times 0.69} \times 50 = -1.45 \text{ Hz} / \text{s}$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง ในระบบ จะมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.3.2.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	14.888	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	3.8505	เมกะวัตต์
- ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	0.44	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.03	ค่าต่อหน่วย
- ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	0.685	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.67	วินาที

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -1.09 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ยังคงเกินขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่เช่นเดียวกัน

$$ROCOF = \frac{0 - 0.03}{2 \times 0.685} \times 50 = -1.09 \text{ Hz} / \text{s}$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง ในระบบและการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นแต่ยังคงเกินเกณฑ์ที่กำหนดเช่นเดิม

### 5.3.2.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส ในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบ รวมถึงมีโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสเพื่อเพิ่มความเฉื่อยให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	20.288	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	3.8505	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 1-3	1	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 4-6	0.8	เมกะวัตต์/โรง
- ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	0.44	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.02	ค่าต่อหน่วย
- ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	3.16	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.67	วินาที
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 1-3	10	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โรงที่ 4-6	10	วินาที/โรง

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ  $-0.16$  เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้อยู่ในขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่แล้ว

$$ROCOF = \frac{0 - 0.02}{2 \times 3.16} \times 50 = -0.16 \text{ Hz} / \text{s}$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง และการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสนั้น ในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยสามารถช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 2.2 เมกะวัตต์

### 5.3.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในกรณีที่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ในช่วงการตอบสนองของความถี่ ระบบจะมองเห็นความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เสมือนโหลดเพิ่มขึ้นประมาณ 0.44 เมกะวัตต์ โดยความถี่ในระบบได้มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา และการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส ซึ่งการเพิ่มความถี่ต่าง ๆ นั้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เปลี่ยนแปลงไป โดยรายละเอียดในการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงในการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ว่าเพียงพอหรือไม่ สามารถแสดงการวิเคราะห์ที่ได้อ้างต่อไปนี้

#### 5.3.3.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อมีความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความถี่ให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	11.0375	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
- ความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง	1.14	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.103	ค่าต่อหน่วย
ความผันผวนของโหลด	0.7	เมกะวัตต์
ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง	0.44	เมกะวัตต์
- ค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	0.69	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -3.73 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ยังคงเกินขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่

$$ROCOF = \frac{0 - 0.103}{2 \times 0.69} \times 50 = -3.73 \text{ Hz} / \text{s}$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง ในระบบ จะมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบที่มีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด

### 5.3.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	14.888	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	3.8505	เมกะวัตต์
- ความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง	1.14	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.077	ค่าต่อหน่วย
ความผันผวนของโหลด	0.7	เมกะวัตต์
ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	0.44	เมกะวัตต์
- ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	0.685	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.67	วินาที

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -2.81 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ยังคงเกินขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่เช่นเดียวกัน

$$ROCOF = \frac{0 - 0.077}{2 \times 0.685} \times 50 = -2.81 \text{ Hz} / s$$

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา

จำนวน 4 โรง ในระบบและการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นแต่ยังคงเกินเกณฑ์ที่กำหนดเช่นเดิม

### 5.3.3.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส ในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบ รวมถึงมีโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสเพื่อเพิ่มความเฉื่อยให้กับระบบ มีข้อมูลรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตติดตั้งรวม	20.288	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	2.86875	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	2.65	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	3.8505	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-3	1	เมกะวัตต์/โรง
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4-6	0.8	เมกะวัตต์/โรง
- ความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง	1.14	เมกะวัตต์
หรือคิดเป็น	0.056	ค่าต่อหน่วย
ความผันผวนของโหลด	0.7	เมกะวัตต์
ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	0.44	เมกะวัตต์
- ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ ( $P_{base}$ )	3.16	วินาที
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2	0.67	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3-4	0.7125	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)	0.67	วินาที
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-3	10	วินาที/โรง
โรงไฟฟ้าดีเซลเดินเครื่องโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4-6	10	วินาที/โรง

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามสมการที่ (5.3.4) เท่ากับ -0.443 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนี้อยู่ในขอบเขตของอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่แล้ว



$$ROCOF = \frac{0 - 0.056}{2 \times 3.16} \times 50 = -0.443 \text{ Hz} / s$$

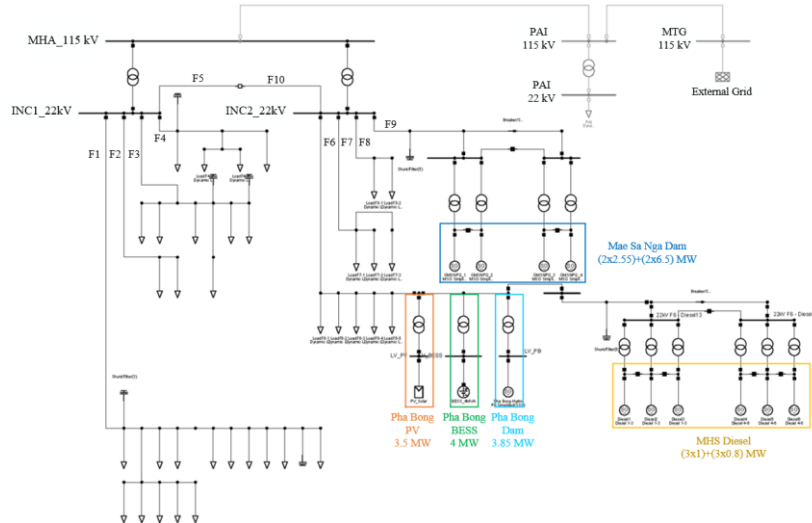
จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง และการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสนั้น ในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยสามารถช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์เกี่ยวกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่เมื่อในระบบมีความผันผวนของโหลดหรือ/และกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสเพียงพอต่อการทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้โดยไม่ต้องพึ่งพาระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งในบทถัดไปจะแสดงผลการจำลองระบบจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม DIgSILENT เพื่อยืนยันการวิเคราะห์จากบทนี้

## บทที่ 6

### ผลการจำลองการเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

วิทยานิพนธ์นี้ได้จำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนด้วยโปรแกรม DIGSILENT โดยแสดงผลการจำลองการศึกษาปัญหาความถี่ต่ำในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนโดยพิจารณาจากความเสี่ยงของความเสี่ยงและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแนวทางการเพิ่มความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนด้วยโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องใหม่ทดตัวเก็บประจุเชิงโคโรนัส ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อลดผลกระทบด้านความเสี่ยงของความเสี่ยงและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ ซึ่งมีแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองระบบเป็นดังรูปที่ 6.1 รวมถึงแสดงผลการจำลองเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบที่เหมาะสมที่ได้วิเคราะห์ในบทก่อนหน้า



รูปที่ 6.1 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

นอกจากนี้ในการศึกษากรณีความผันผวนต่าง ๆ สำหรับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าตัวแปรที่สำคัญดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าตัวแปรของระบบควบคุมของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

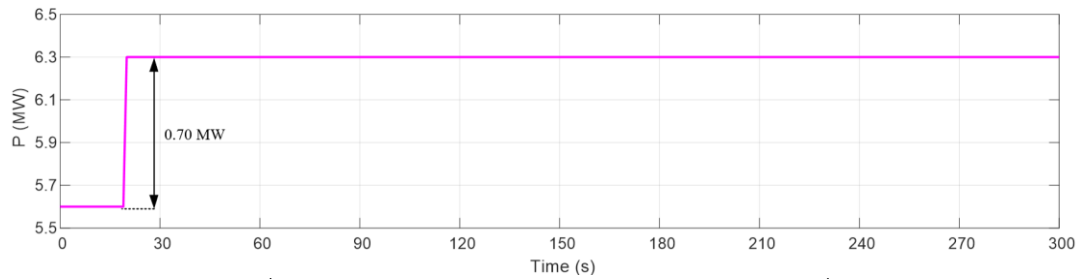
กรณี	การปรับเรียง กำลังไฟฟ้า (Tau_SM)	ระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้า	
		Low Pass Filter	Kp (BESS)
ความผันผวนของโหลด	-	300	0.35
ความผันผวนของกำลังผลิต ของโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์	145	300	0.4
ความผันผวนของโหลดและ กำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์	145	300	0.4

### 6.1 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลด (กรณีที่ 1)

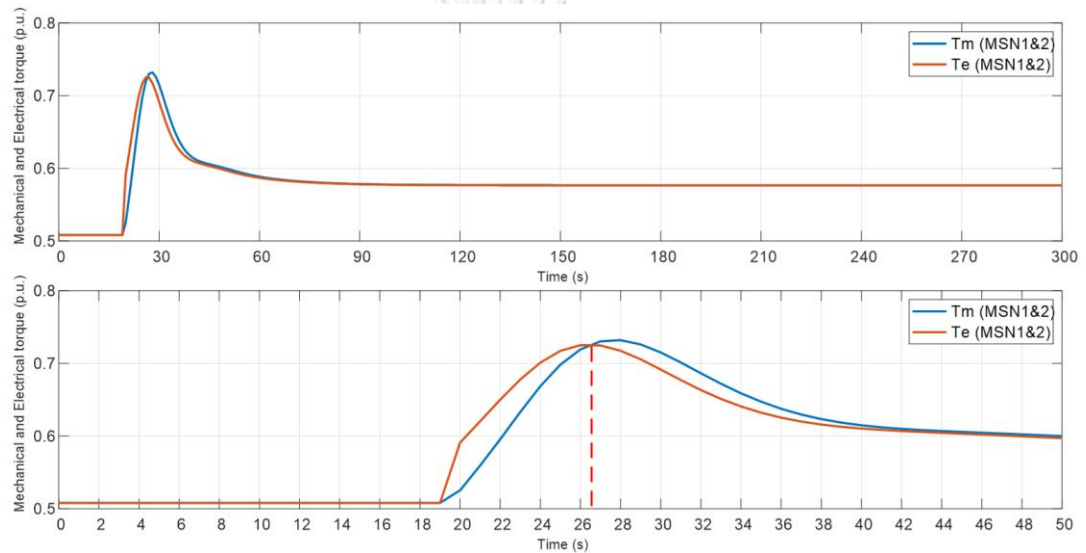
ในกรณีที่ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ดังรูปที่ 6.2 ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที หรือโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด แรงบิดทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าแรงบิดทางกลที่มาจากกลไกทางกลของระบบควบคุมของกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ดังรูปที่ 6.3 - รูปที่ 6.4 ตามลำดับ อีกนัยหนึ่งคือความผันผวนของโหลดราย 10 วินาที อยู่ในช่วงการทำงานของดรูปชั่วขณะ โดยแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-2 และโรงที่ 3-4 จะมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันเนื่องจากมีพารามิเตอร์เหมือนกัน นอกจากนี้หากพิจารณาในเชิงกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะพบว่ากำลังทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของโหลด แต่กำลังทางกลมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่ากำลังทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับแรงบิดทางกลที่เปลี่ยนแปลงช้ากว่าแรงบิดทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.5 ซึ่งผลต่างระหว่างแรงบิดทางกับแรงบิดทางไฟฟ้าและกำลังทางกลกับกำลังทางไฟฟ้าส่งผลทำให้ความถี่ลดลง

อย่างไรก็ตาม เมื่อแรงบิดทางกลเปลี่ยนแปลงทันหรือเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้า ในที่นี้คือช่วงระหว่างวินาทีที่ 26 และ 27 เป็นช่วงที่ระบบควบคุมกังหันเริ่มทำงานได้มากขึ้น จ่ายกำลังทางกลเริ่มมากกว่ากำลังทางไฟฟ้า ทำให้ความถี่ที่ลดลงอันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยในกรณีนี้มีความถี่ต่ำสุด 39.53 เฮิรตซ์ หรือเกิดความ

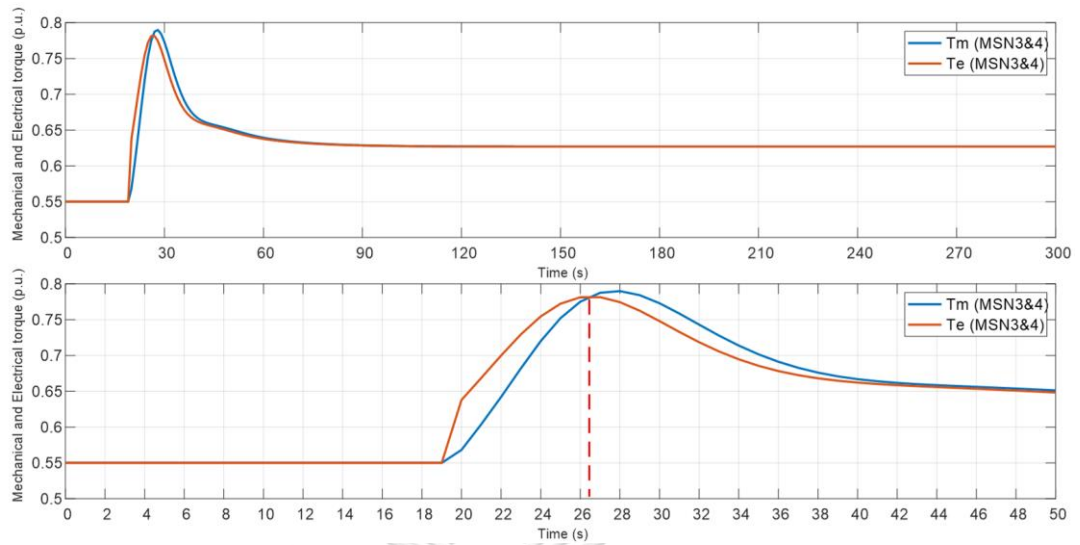
เบี่ยงเบนของความถี่ 10.47 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.6 และในช่วงการตอบสนองของความถี่จะพบว่ามีความถี่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ -2.13 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.7 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในบทที่ 5 ที่ -2.17 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที



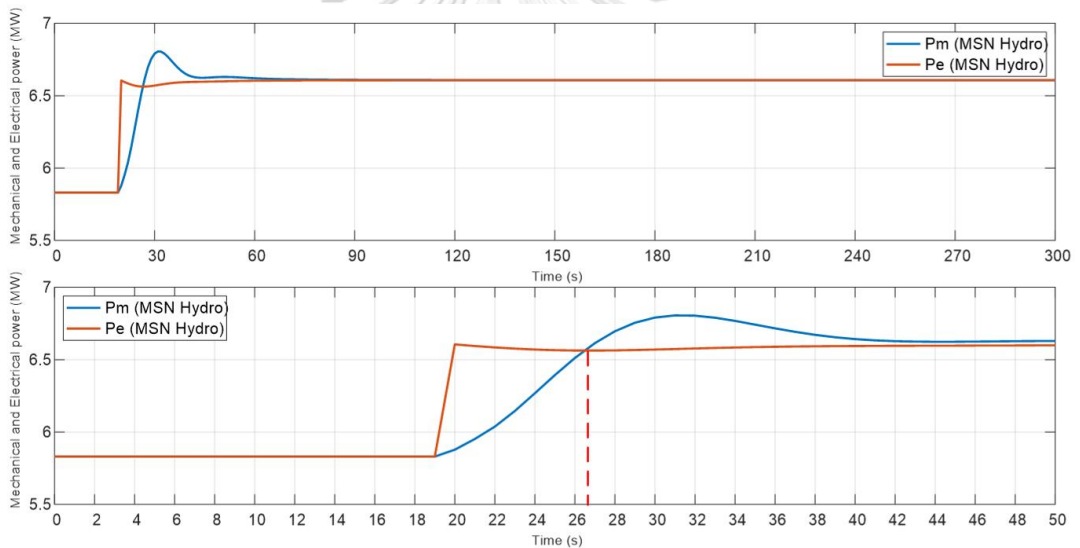
รูปที่ 6.2 ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ (กรณีที่ 1)



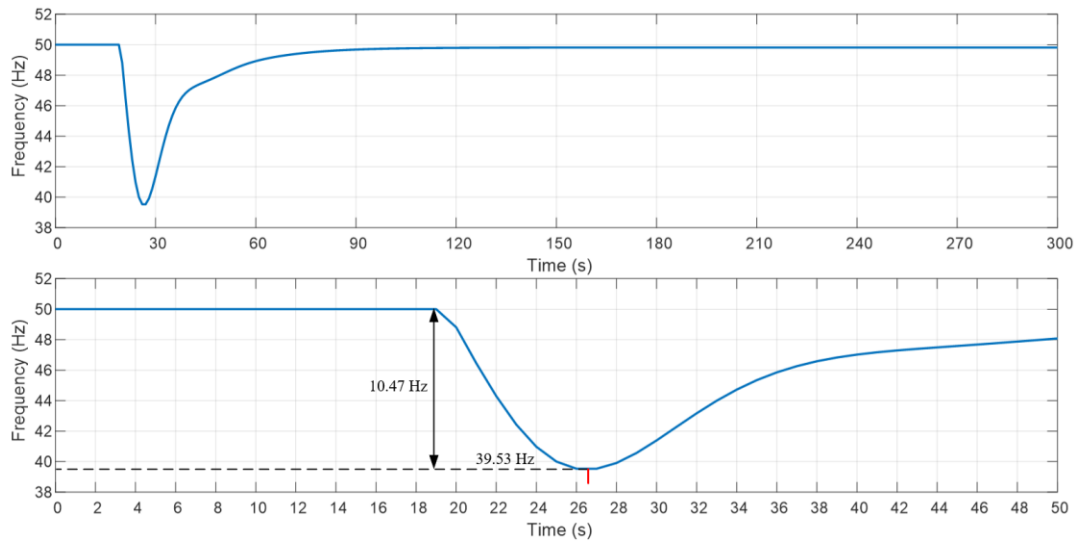
รูปที่ 6.3 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 1)



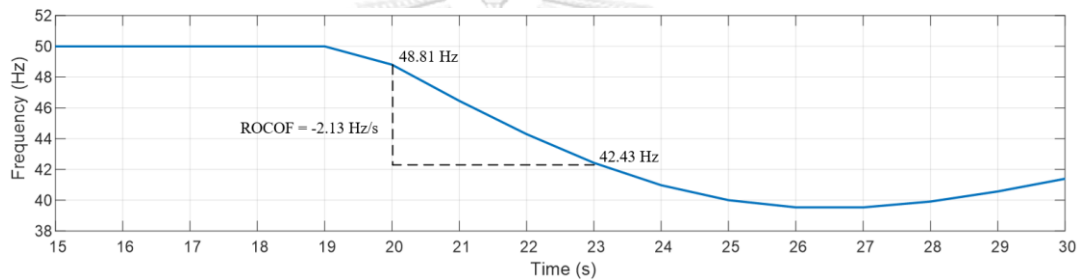
รูปที่ 6.4 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 1)



รูปที่ 6.5 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 1)



รูปที่ 6.6 ความถี่ของระบบ (กรณี ที่ 1)



รูปที่ 6.7 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความถี่ (กรณี ที่ 1)

จากการจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที หรือโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง เมื่อมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ส่งผลทำให้ความถี่ของระบบเกินเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้เช่นเดียวกันตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ ดังนั้น ในลำดับถัดไปจะเป็นผลการจำลองระบบโดยการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสและระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ตามลำดับ ซึ่งคาดหวังว่าการเพิ่มเติมความเฉื่อยดังกล่าวจะช่วยให้ความถี่ของระบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

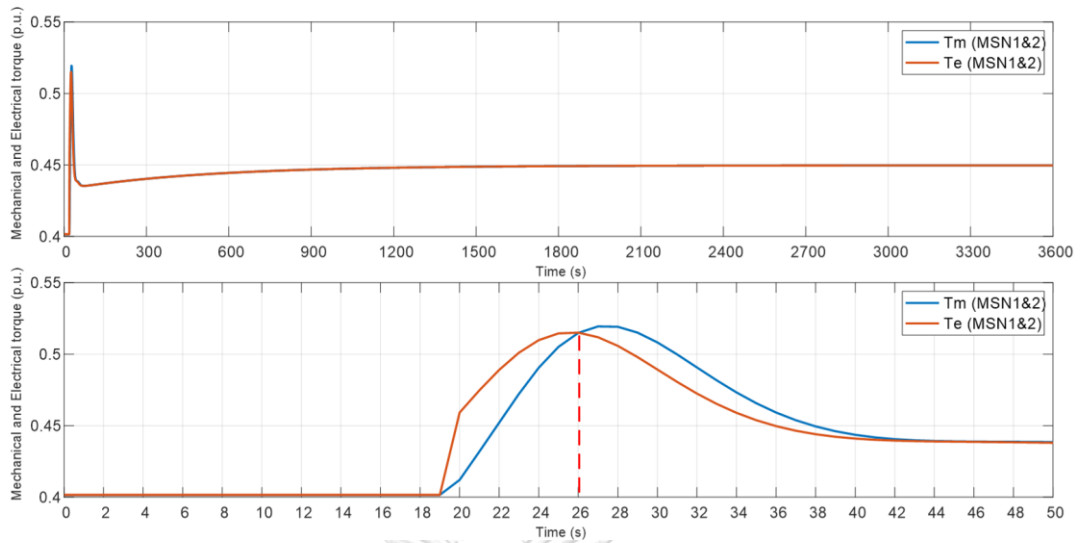
### 6.1.1 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี ที่ 1.1)

ผลจากการจำลองระบบเมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความเฉื่อย 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ส่งผลทำให้ความเฉื่อยในระบบเพิ่มขึ้นจาก 154.42 เป็น 206.7 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า

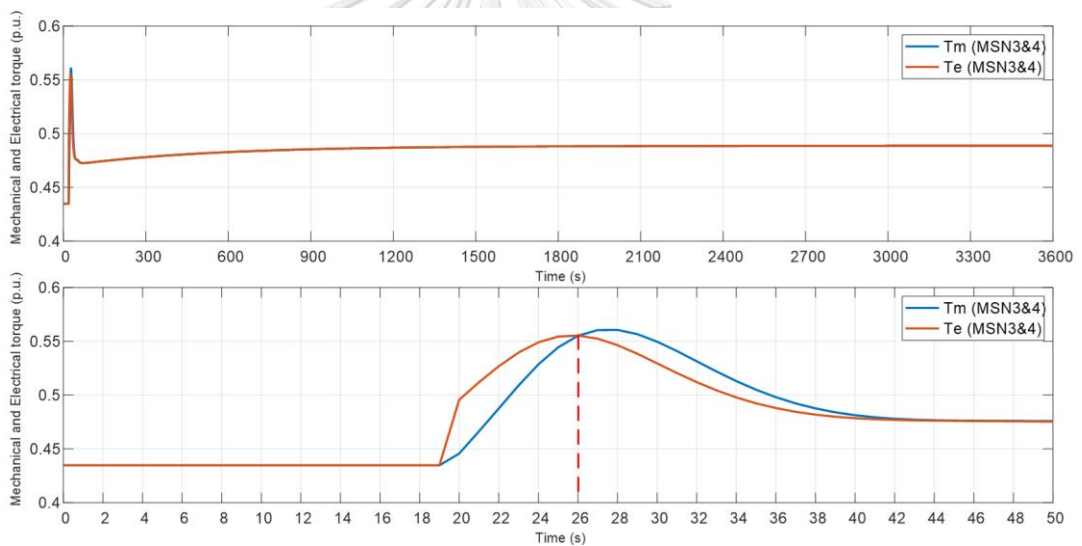
พฤติกรรมแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 1-4 ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่าแรงบิดทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของโหลดได้รวดเร็วกว่า ดังรูปที่ 6.8 - รูปที่ 6.9 รวมถึงแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าในค่าต่อหน่วยยังมีขนาดลดลง ทั้งนี้มาจากการที่ในระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เพิ่มเข้ามาในระบบ ซึ่งนอกจากจะเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยให้กับระบบแล้ว กำลังไฟฟ้าของระบบยังเพิ่มขึ้นทำให้ขนาดความผันผวนของโหลดในค่าต่อหน่วยมีลักษณะที่น้อยลง

สำหรับแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีลักษณะพฤติกรรมเช่นเดียวกันกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ดังรูปที่ 6.10 หรือพิจารณาในเชิงของกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าจะพบว่ากำลังทางกลไม่สามารถเปลี่ยนตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทันทีทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ดังรูปที่ 6.11 - รูปที่ 6.12 โดยโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) จะจ่ายกำลังทางไฟฟ้ามากกว่าเนื่องจากมีขนาดกำลังติดตั้งที่มากกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาทั้ง 4 โรง

พฤติกรรมของแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กทั้งสองเป็นไปตามระบบควบคุมของกังหัน โดยช่วงที่แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าเท่ากันอยู่ในช่วงวินาทีที่ 26 ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลดลงจาก 13.47 เฮิร์ตซ์ เป็น 6.9 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดจาก 36.53 เฮิร์ตซ์ เป็น 43.10 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.13 แต่ความถี่ดังกล่าวยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้อยู่ อย่างไรก็ตามการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ช่วยทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นจากเดิม -2.13 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที เป็น -1.47 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.14 มีค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ไว้ที่ -1.72 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที แต่ยังคงมีค่าเกินขอบเขตที่กำหนดไว้เช่นเดียวกันกับความเบี่ยงเบนของความถี่

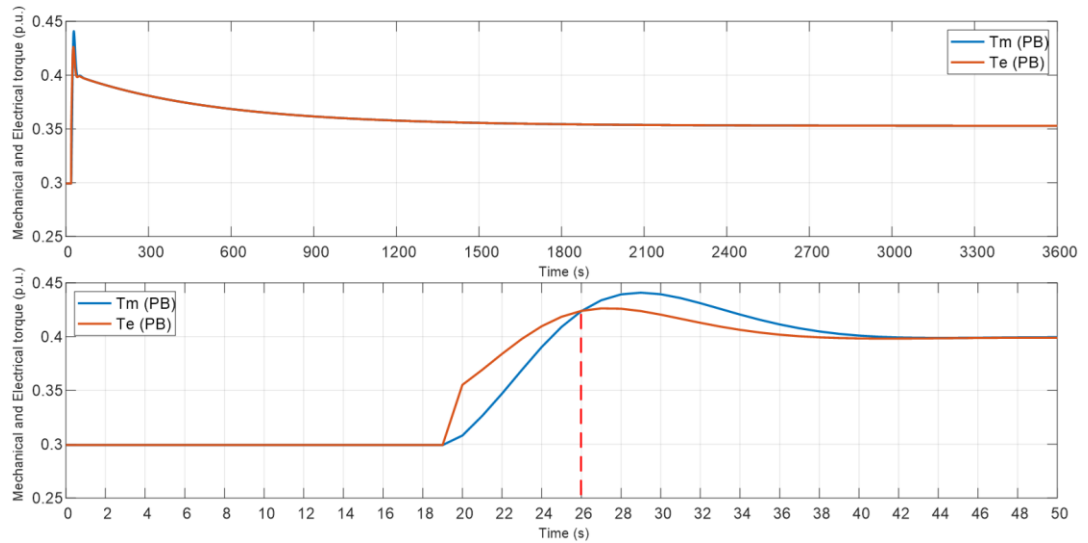


รูปที่ 6.8 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 1.1)

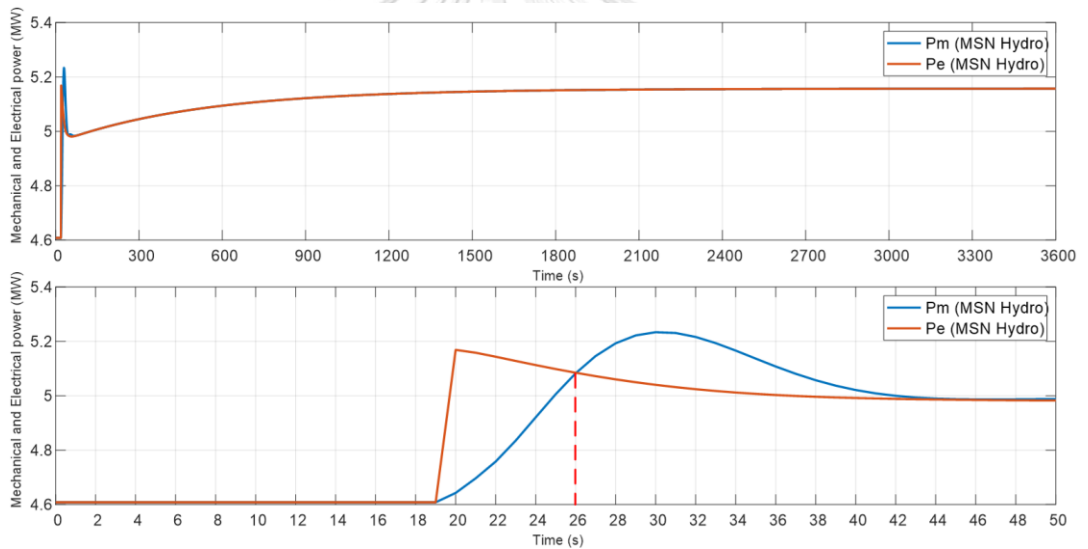


รูปที่ 6.9 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 1.1)

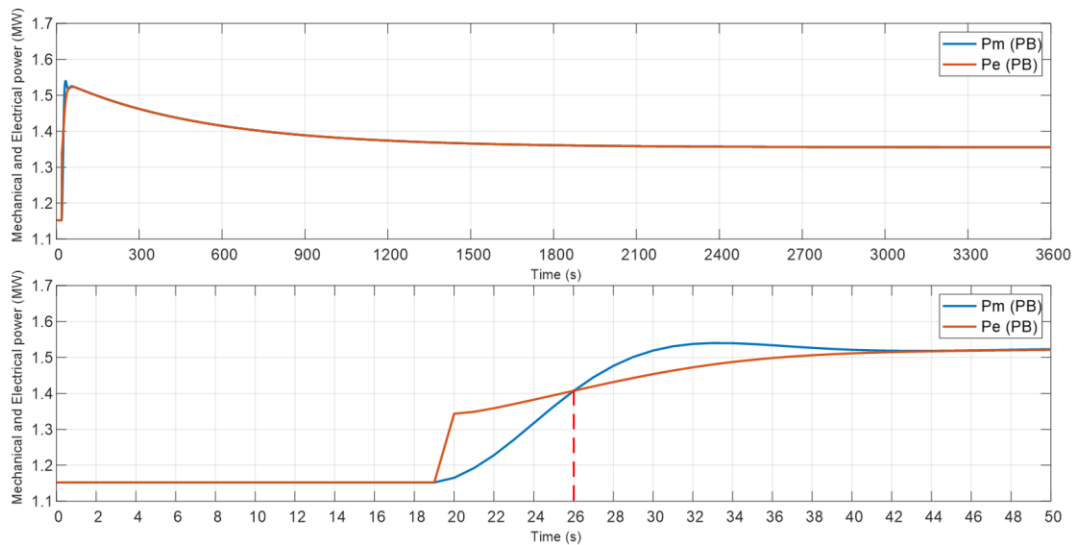




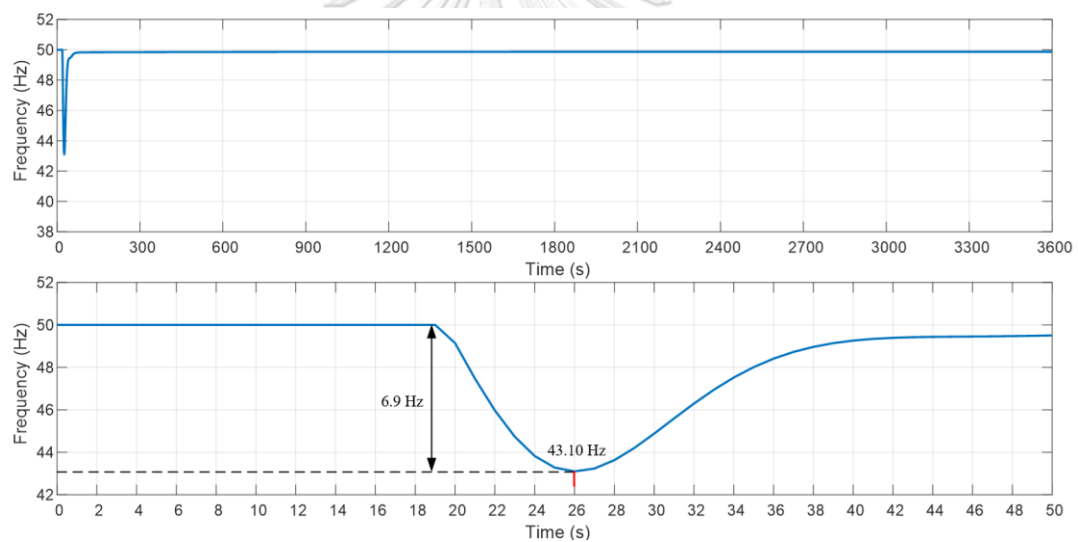
รูปที่ 6.10 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.1)



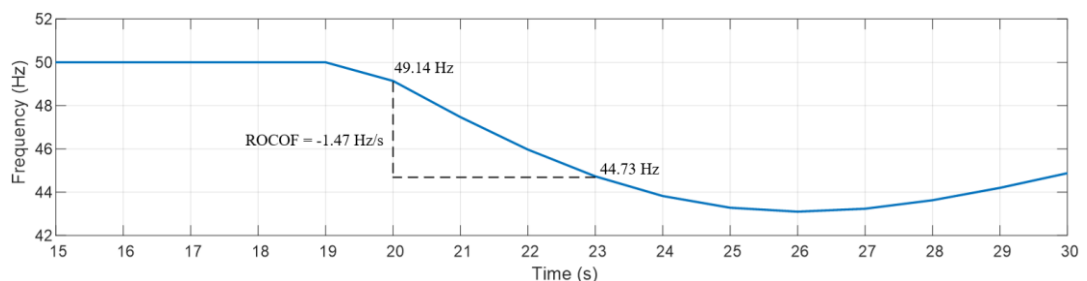
รูปที่ 6.11 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีศึกษาที่ 1.1)



รูปที่ 6.12 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 1.1)



รูปที่ 6.13 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 1.1)



รูปที่ 6.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 1.1)

การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ช่วยให้ความเฉื่อยของระบบและกำลังไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่และอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นแต่ยังคงไม่เพียงพอต่อการรักษาให้อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนด

ได้ ซึ่งตรงกับที่วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 5 ดังนั้นในลำดับถัดไปจะเป็นการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้า ดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส

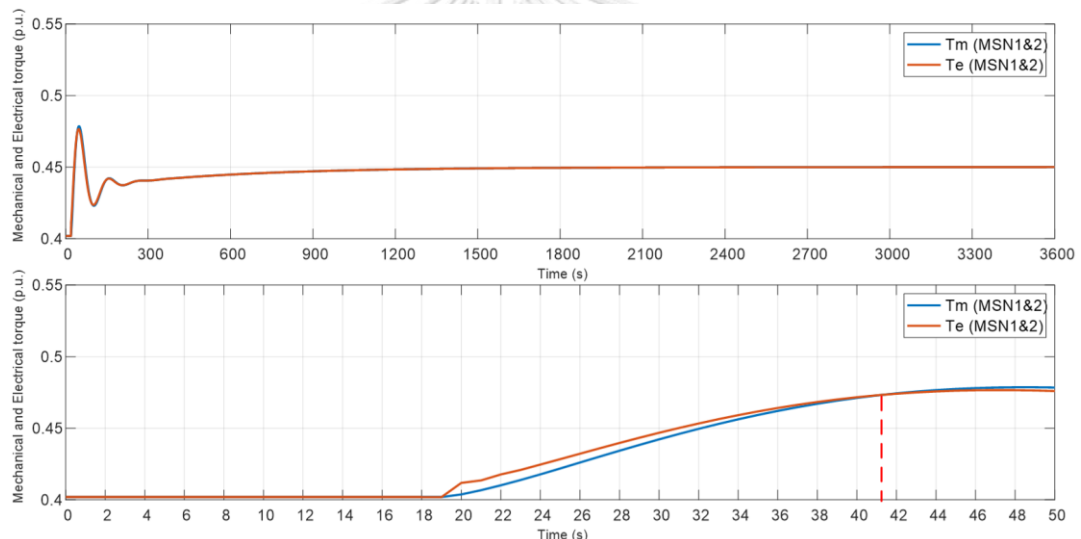
### 6.1.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส (กรณี 1.2)

เมื่อเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความเฉื่อย 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสที่มีโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 1 – 3 เท่ากับ 202.64 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 4 – 6 เท่ากับ 162.11 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ส่งผลทำให้ความเฉื่อยในระบบเพิ่มขึ้นจาก 154.42 เป็น 1300.89 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทก่อนหน้านี้ ผลการจำลองระบบพบว่าเมื่อระบบมีความเฉื่อยเพิ่มขึ้น ในการตอบสนองของความเฉื่อยหรือช่วงระยะเวลาก่อนที่การตอบสนองปฐมภูมิจะเริ่มทำงานอย่างเต็มที่ แรงบิดทางไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของโหลดเช่นเดียวกับในสองกรณีก่อนหน้านี้ แต่จะไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วรวมถึงค่าพุ่งเกิน (Overshoot) จะมีขนาดที่ลดลง ซึ่งแรงบิดทางกลยังคงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.15 - รูปที่ 6.17 ทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

นอกจากนี้ขนาดของค่าพุ่งเกินที่ลดลงเป็นผลจากการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสทั้ง 6 เครื่อง มาช่วยแบ่งรับความผันผวนของโหลด ซึ่งเป็นพฤติกรรมอัตโนมัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสที่จะช่วยจ่ายพลังงานจลน์สะสมออกมาให้กับระบบแสดงในรูปแบบของแรงบิดทางไฟฟ้า โดยจะไม่มีแรงบิดทางกล ดังรูปที่ 6.18 - รูปที่ 6.19 หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าต่อหน่วยของโหลดในช่วงแรกที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ต้องจ่ายมีขนาดที่เล็กลง

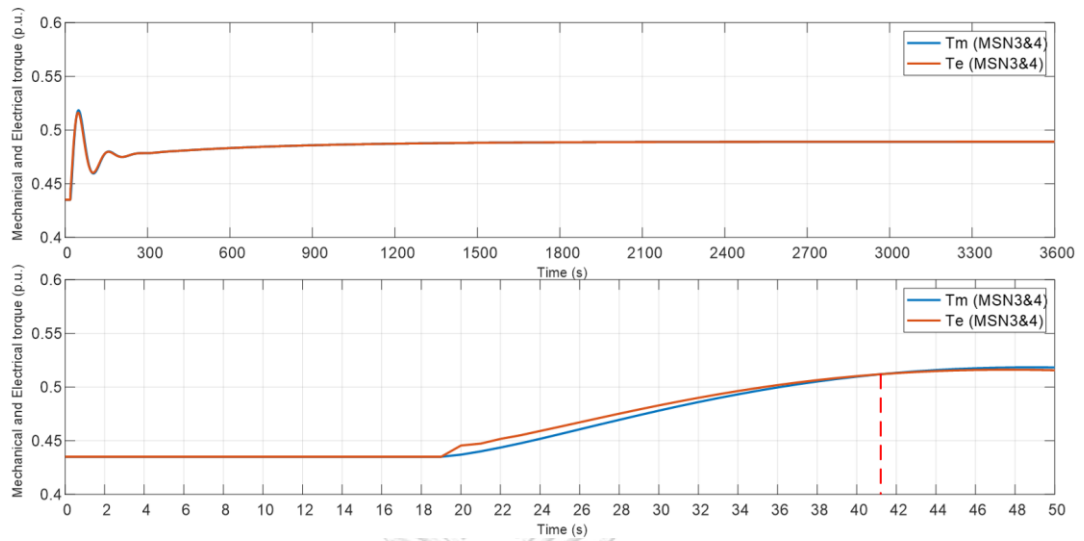
ในเชิงของกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับแรงบิดคือกำลังทางกลไม่สามารถตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.20 - รูปที่ 6.21 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะมีพฤติกรรมการจ่ายพลังงานจลน์สะสมหรือกำลังไฟฟ้ามาช่วยในช่วงแรกก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว (Steady state) ดังรูปที่ 6.22 มีค่ากำลังทางไฟฟ้ารวมประมาณ 0.6 เมกะวัตต์ ก่อนจะค่อย ๆ มีค่าลดลง

นอกจากนี้ หากสังเกตจะเห็นผลต่างของแรงบิดทางกลกับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลกับกำลังทางไฟฟ้ามีค่าน้อยลง ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลดลงจาก 13.47 เฮิร์ตซ์ เป็น 3.46 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดจาก 36.53 เฮิร์ตซ์ เป็น 46.54 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.23 โดยช่วงที่แรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าอยู่ในช่วงประมาณวินาทีที่ 41 ทั้งนี้การที่ความถี่ต่ำสุดไม่ได้อยู่ในระยะเวลาประมาณวินาทีที่ 20 กว่าเหมือนอย่างในสองกรณีแรก เนื่องจากในระบบมีความเฉื่อยเพิ่มขึ้นทำให้ค่าดรู๊ปชั่วขณะของระบบควบคุมกังหันไม่ใช่ค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ได้ทำงานตามค่าที่ตั้งไว้ร้อยเปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ช่วงระยะเวลาการทำงานของระบบควบคุมกังหันหรือการจ่ายกำลังทางกลเต็มที่มีระยะเวลานานออกไป เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบนั้นพบว่าค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีค่าเท่ากับ -0.27 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ไว้เท่ากับ -0.28 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที อย่างไรก็ตาม ด้านความถี่ต่ำสุดยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้อยู่

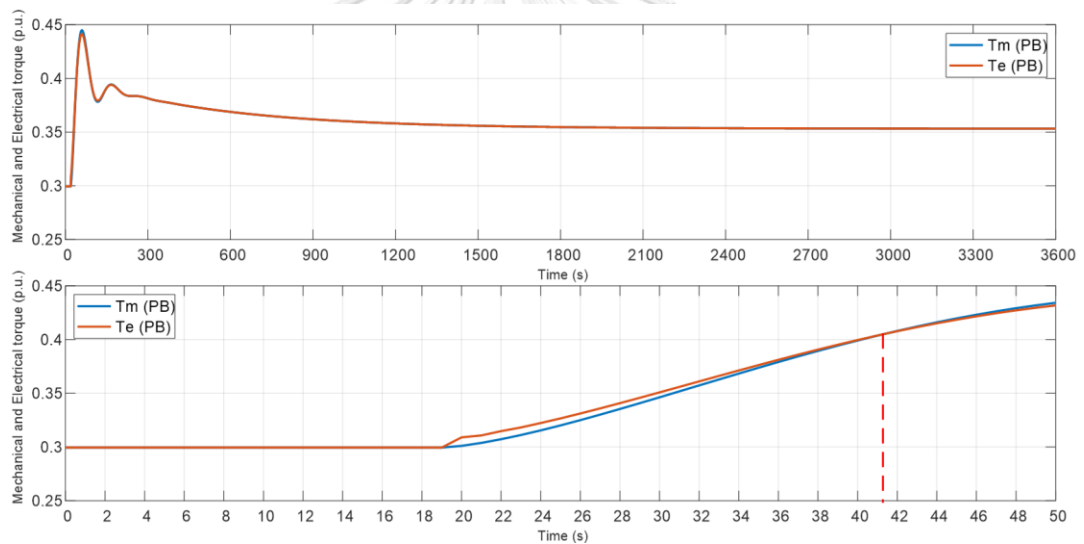


รูปที่ 6.15 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

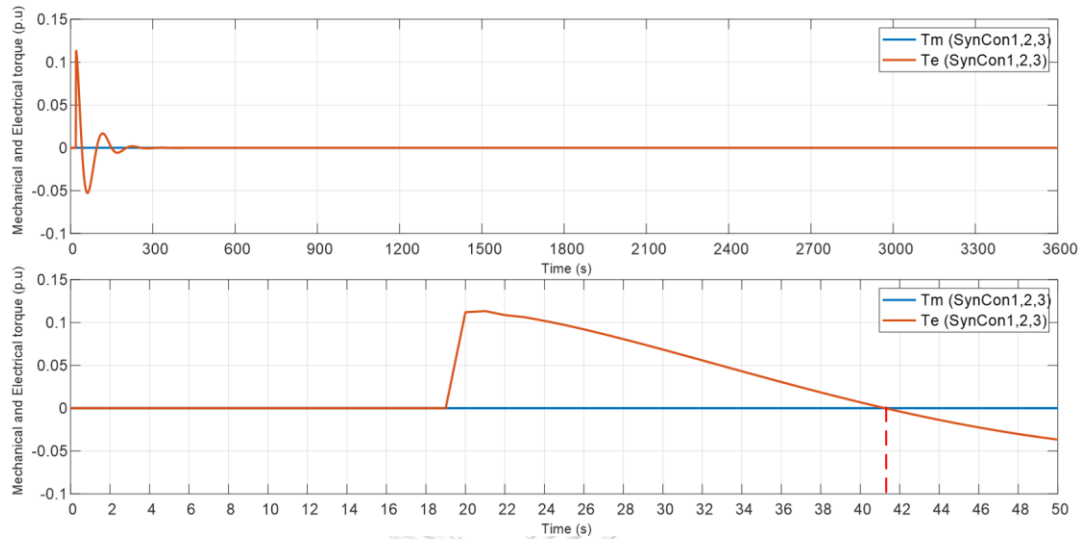
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 1.2)



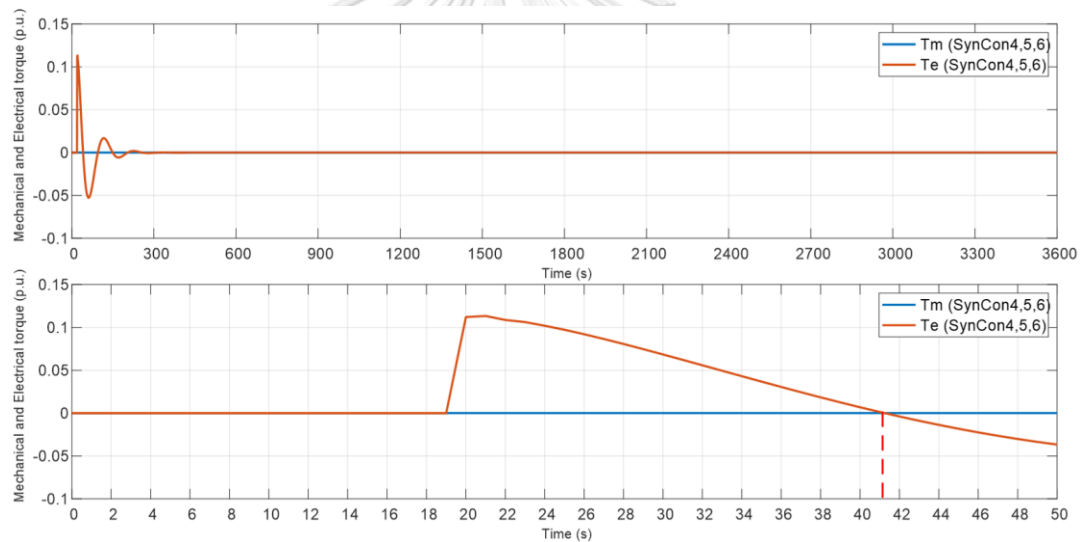
รูปที่ 6.16 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 1.2)



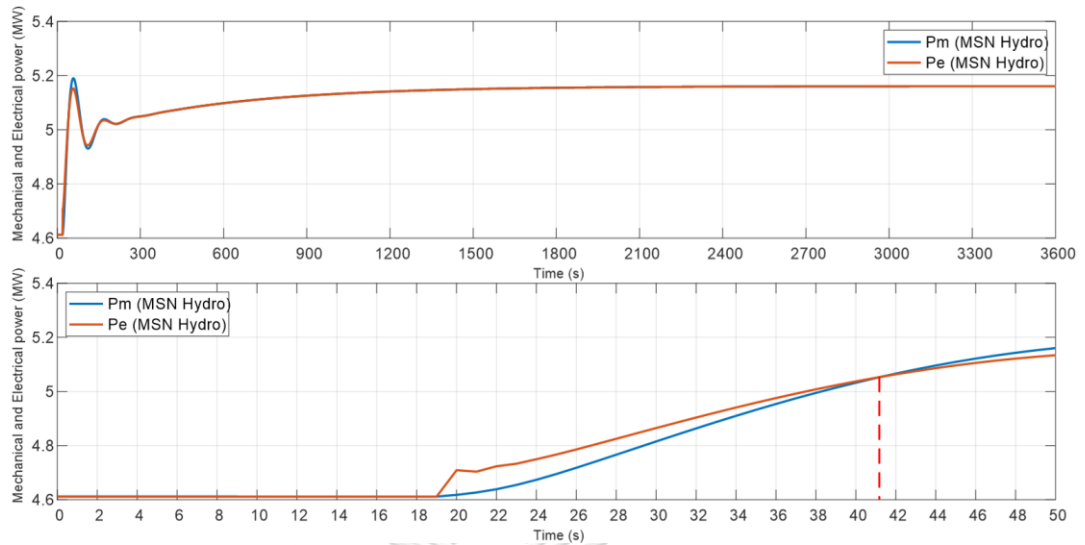
รูปที่ 6.17 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี 1.2)



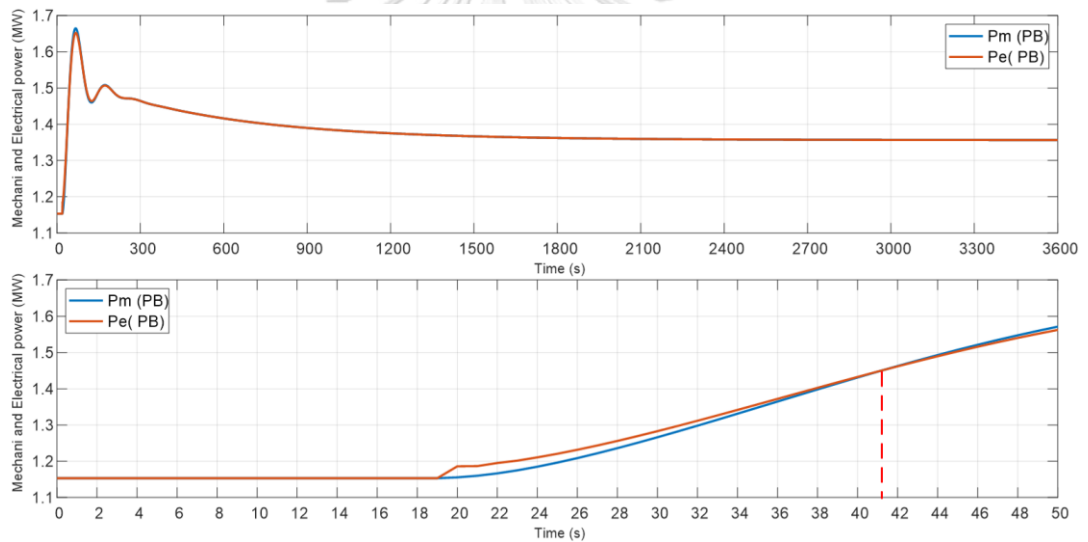
รูปที่ 6.18 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีที่ 1.2)



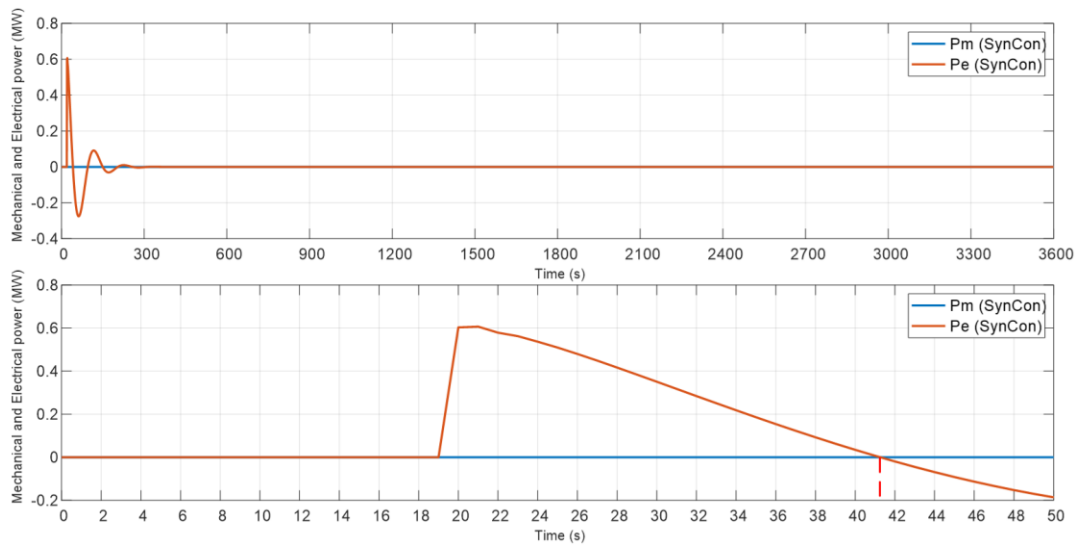
รูปที่ 6.19 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 1.2)



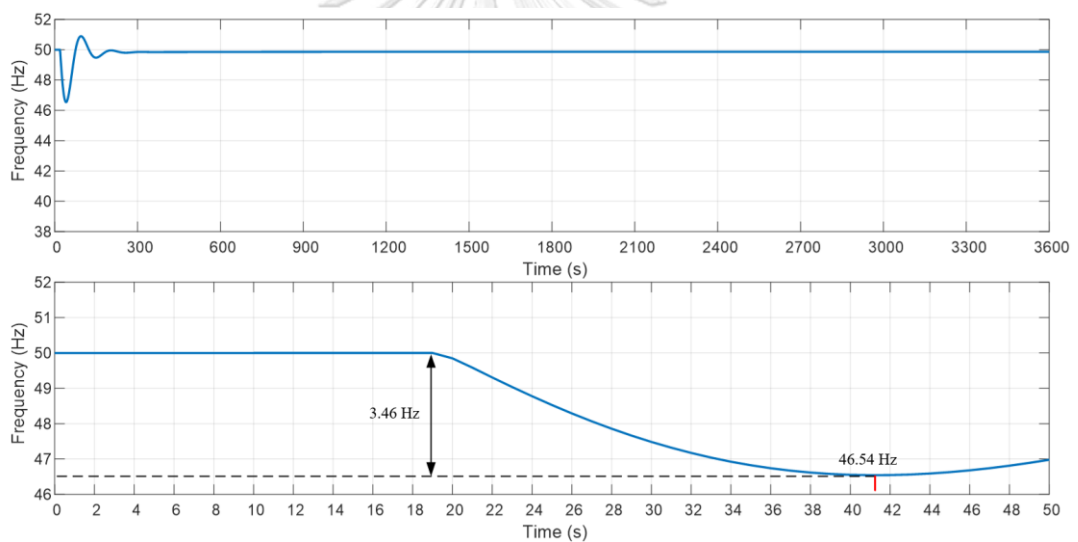
รูปที่ 6.20 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณี 1.2)



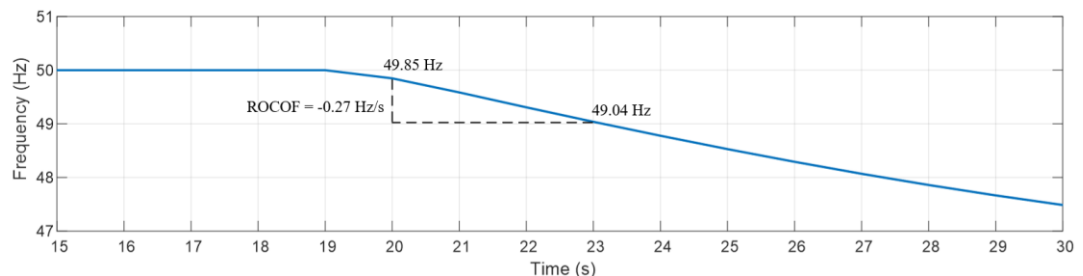
รูปที่ 6.21 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี 1.2)



รูปที่ 6.22 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณี 1.2)



รูปที่ 6.23 ความถี่ของระบบ (กรณี 1.2)



รูปที่ 6.24 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณี 1.2)

การจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก  
แม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส มีผลทำให้อัตรา  
การเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนทางด้านความถี่ต่ำสุดนั้นมีแนวโน้มดีขึ้น



แต่ยังคงไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้น ในลำดับถัดไปจะเป็นการนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เข้ามาช่วยลดความเบี่ยงเบนของค่าความถี่ให้ค่าความถี่ต่ำสุดนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 6.1.3 การแก้ไขความถี่ต่ำของระบบด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 1.3)

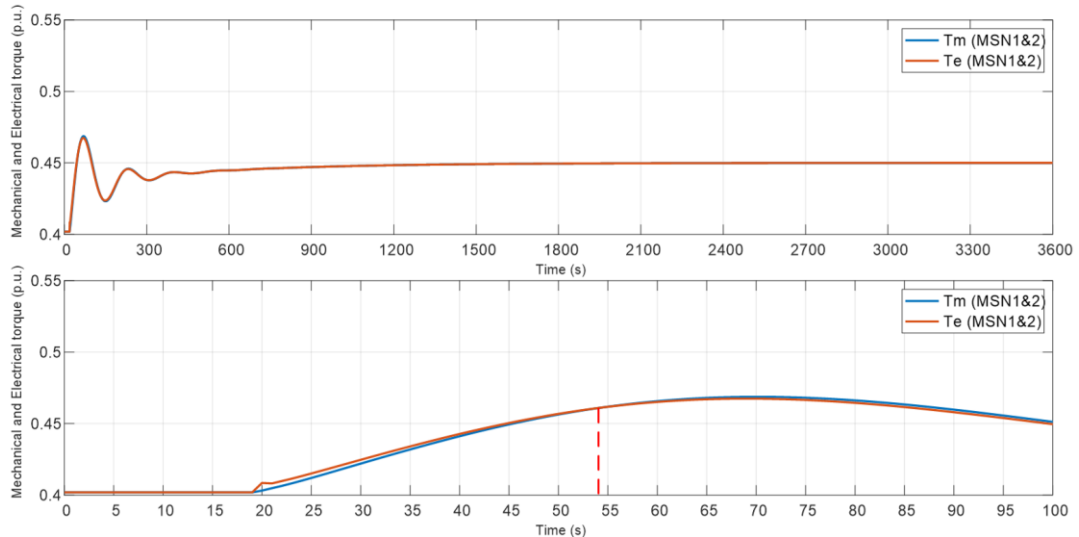
#### 6.1.3.1 การเพิ่มความถี่ของระบบจากความถี่เสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 1.3.1)

ผลจากการจำลองระบบเมื่อให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความถี่เสมือน 18.95 วินาที ตามที่ได้คำนวณไว้ในบทที่ 5 พบว่าพฤติกรรมแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ยังคงไม่สามารถตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ทันถึงแม้ว่าจะมีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้าแล้วก็ตาม โดยค่าพุ่งเกินมีขนาดลดลง ดังรูปที่ 6.25 - รูปที่ 6.27 ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเป็นไปตามกลไกของรูปชั่วขณะของระบบควบคุมกักเก็บแต่ลักษณะของกลไกจะค่อนข้างช้ากว่าในกรณีก่อนหน้านี้ เนื่องจากความถี่ของระบบเพิ่มขึ้นมากที่สุดทำให้ค่าของรูปชั่วขณะไม่ใช่อย่างที่กำหนดไว้ มีแนวโน้มที่จะมีค่าลดลง

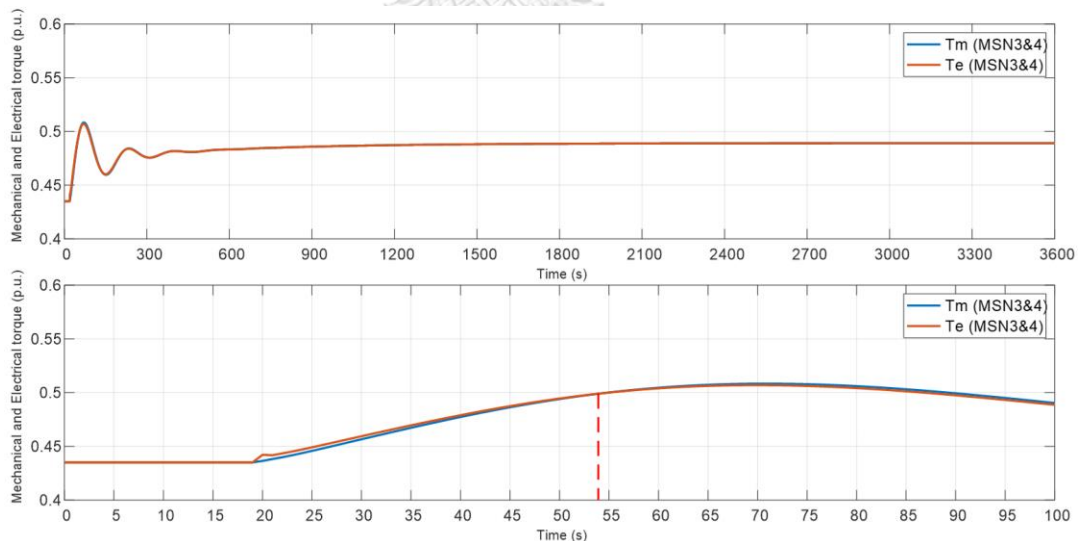
นอกจากนี้แรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะช่วยจ่ายพลังงานจลน์สะสมหรือแรงบิดทางไฟฟ้าให้กับระบบในช่วงที่เกิดความผันผวนของโหลดก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ดังรูปที่ 6.28 - รูปที่ 6.29 หรือหากพิจารณาในเชิงกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.30 - รูปที่ 6.31 ตามลำดับ แต่ในช่วงแรกนั้นยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันเท่าที่ควร ถึงแม้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้าประมาณ 0.4 เมกะวัตต์ ในวินาทีที่ 20 ที่โหลดเกิดความผันผวน ดังรูปที่ 6.32 และมีจะค่อยๆมีค่าลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ สำหรับลักษณะการจ่ายกำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่เกิดจากความผันผวนของโหลด ดังรูปที่ 6.33 คล้ายกับโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส

จากความถี่ในระบบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความถี่ลดลง กำลังทางไฟฟ้าที่ต้องจ่ายออกมาตามการทำงานของรูปชั่วขณะของระบบควบคุมกักเก็บเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจึงไม่ได้มีช่วงการทำงานตามที่เรากำหนดไว้ มีแนวโน้มที่จะจ่ายลดลง ทำให้พฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากันในระยะที่ยาวออกไปกว่าในกรณีอื่น ๆ ข้างต้นก่อนหน้านี้ ส่งผลทำให้ความเบี่ยงเบนของค่าความถี่มีค่าเท่ากับ

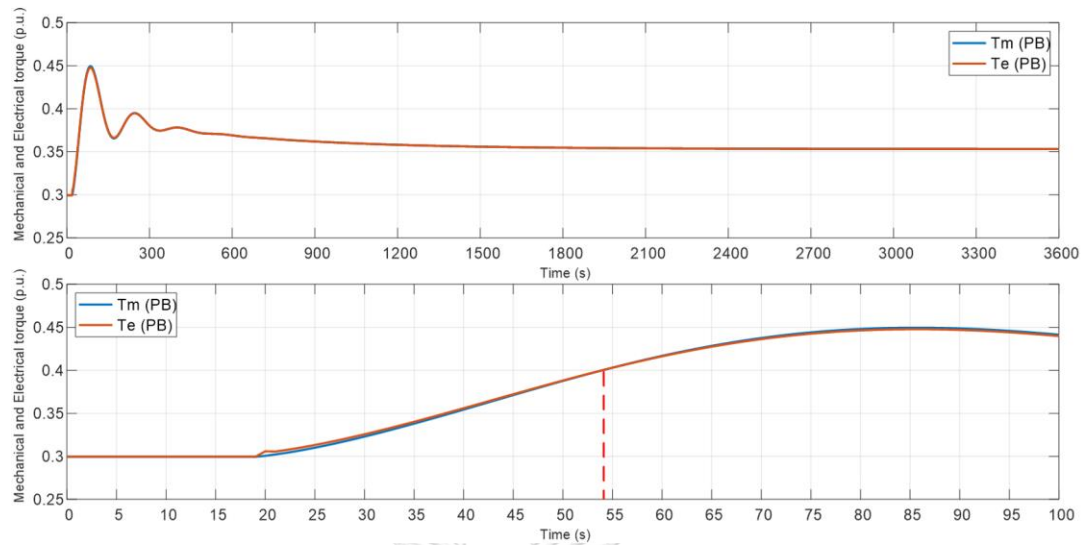
2.5 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดเท่ากับ 47.50 เฮิร์ตซ์ ในช่วงวินาทีที่ 54 ความถี่ของระบบ ดังรูปที่ 6.34 ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาของความถี่ต่ำสุดในกรณีนี้มีค่ามากที่สุดเนื่องจากความเฉื่อยที่มีเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ความถี่ในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยมีแนวโน้มเป็นไปตามที่คาดหวังไว้ที่ 49.50 เฮิร์ตซ์ โดยมีค่าความถี่เท่ากับ 49.49 เฮิร์ตซ์ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 0.02 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 6.35



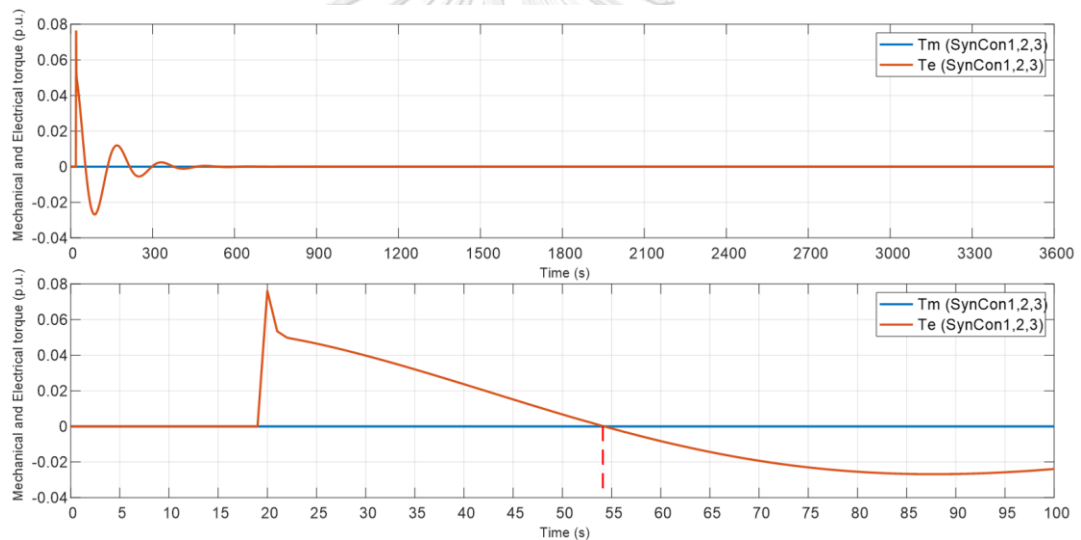
รูปที่ 6.25 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 1.3.1)



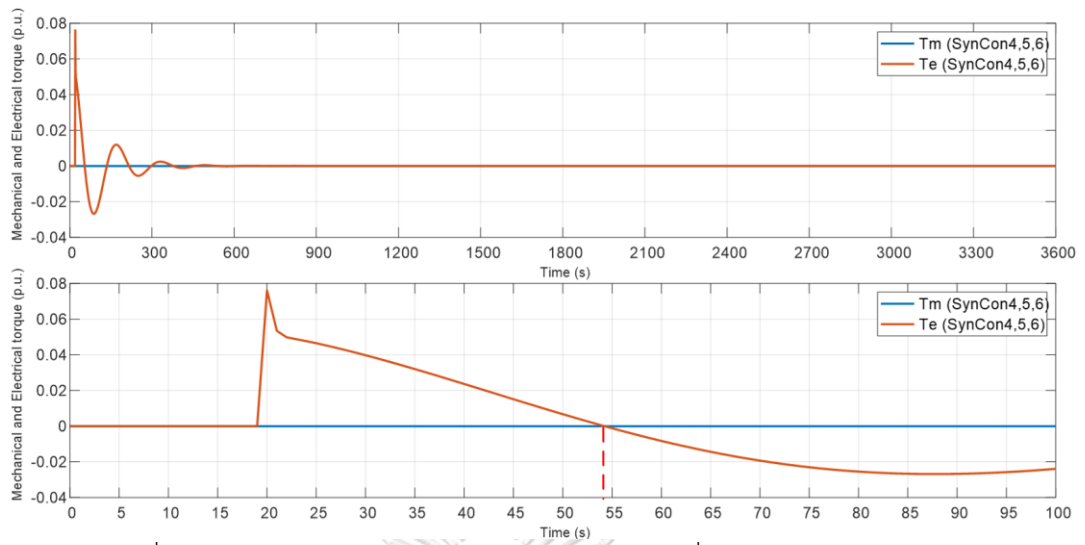
รูปที่ 6.26 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 1.3.1)



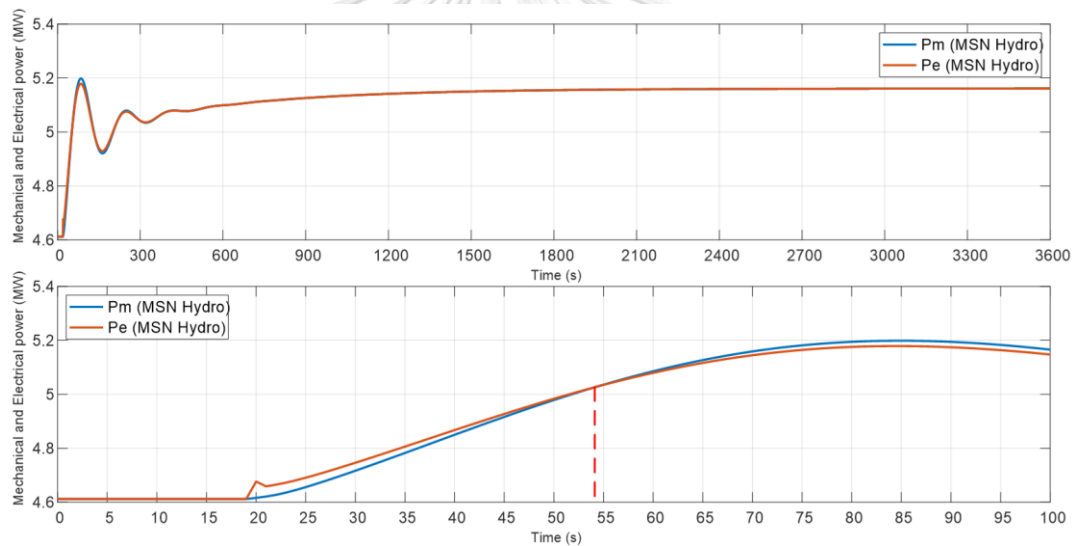
รูปที่ 6.27 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษา 1.3.1)



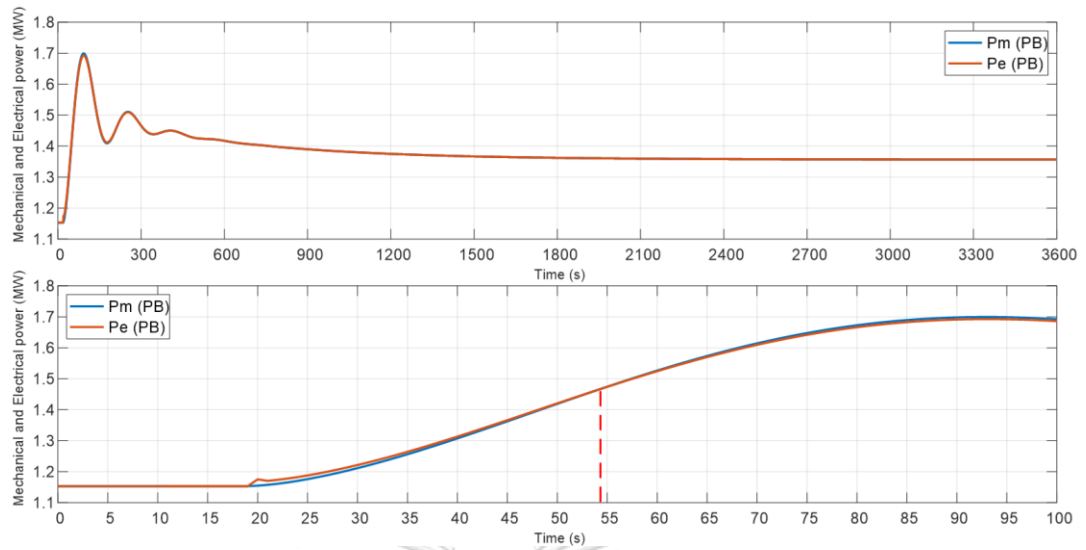
รูปที่ 6.28 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษา 1.3.1)



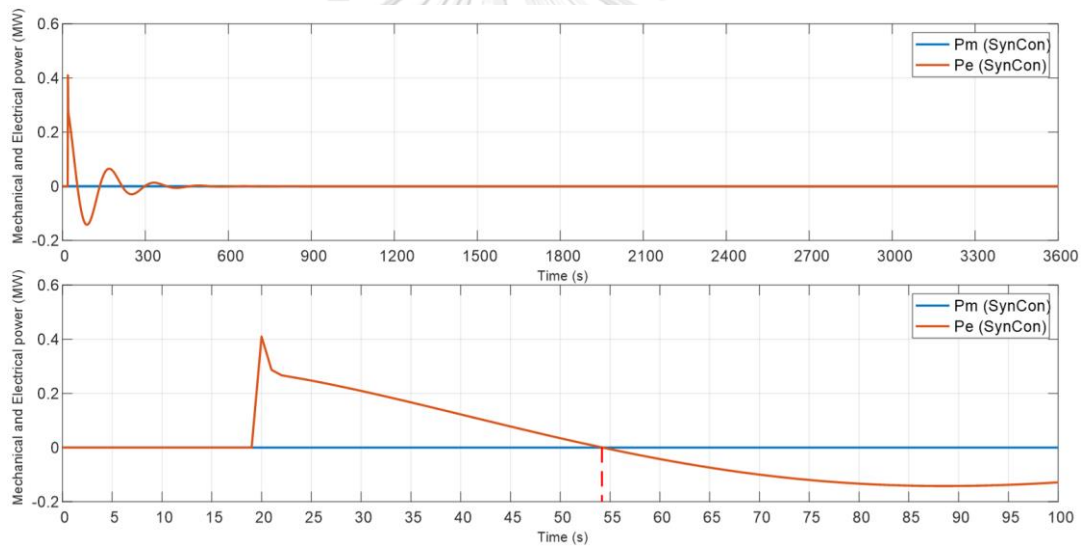
รูปที่ 6.29 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 1.3.1)



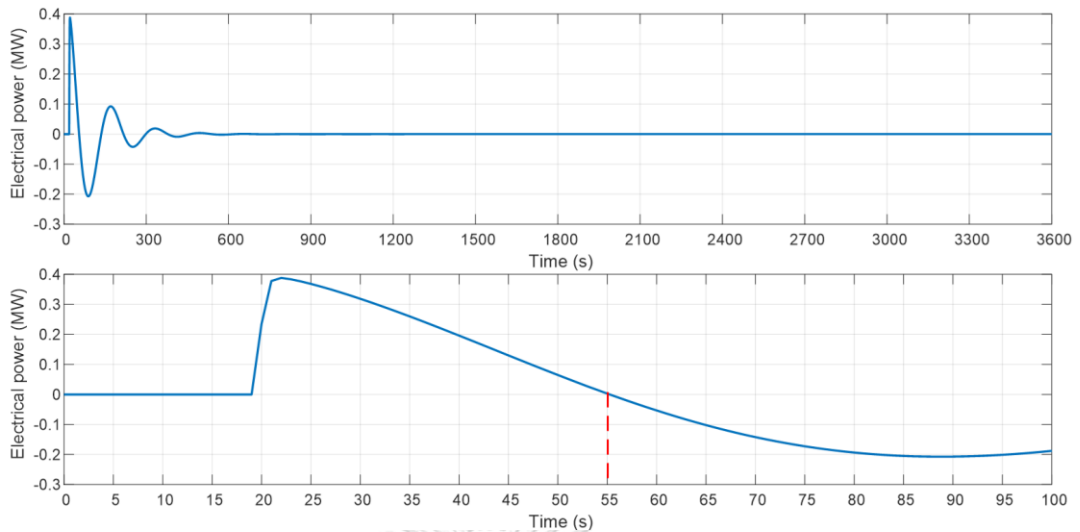
รูปที่ 6.30 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 1.3.1)



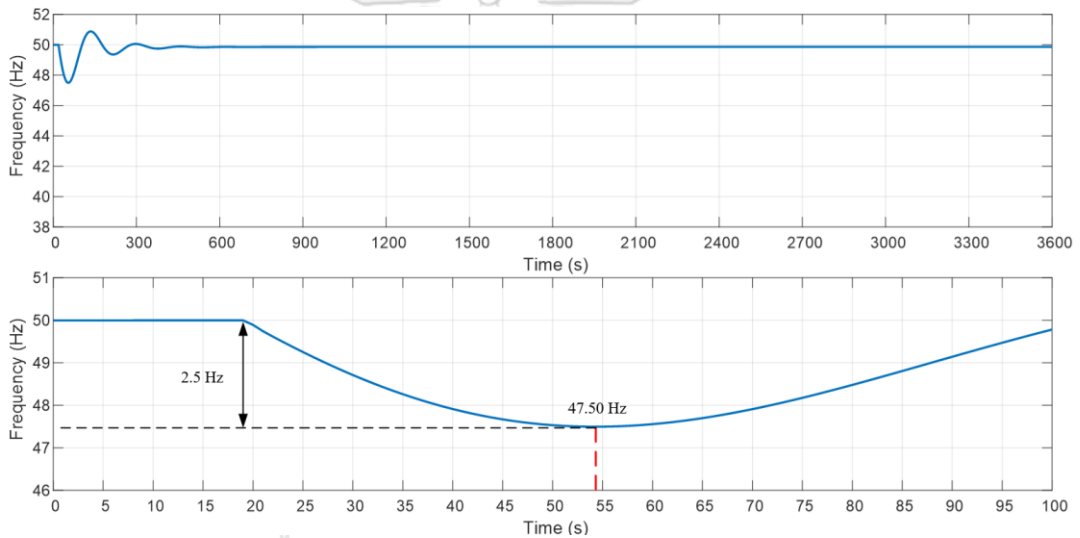
รูปที่ 6.31 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี 1.3.1)



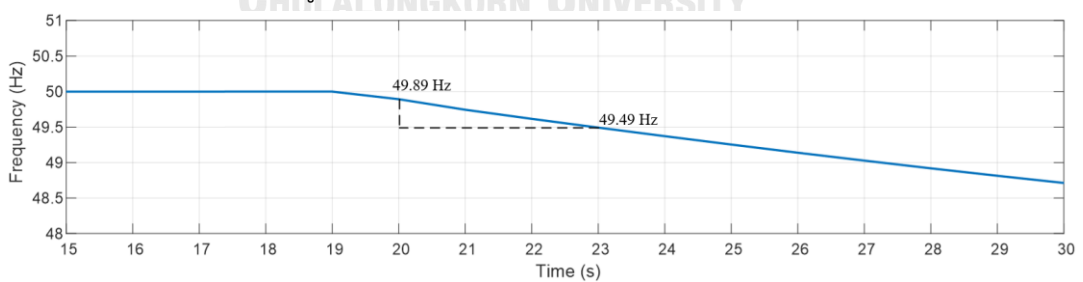
รูปที่ 6.32 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณี 1.3.1)



รูปที่ 6.33 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 1.3.1)



รูปที่ 6.34 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 1.3.1)



รูปที่ 6.35 ความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 1.3.1)

ผลจากการให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าด้วยความเฉื่อยเสมือนพบว่าในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย ความถี่มีแนวโน้มที่จะอยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนด แต่ความถี่ต่ำสุดของระบบไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด รวมถึงมีช่วงเวลาที่ความถี่ต่ำสุดจะนานกว่าในกรณีอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ เนื่องจากการเพิ่มความเฉื่อยส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่น้อยลง ส่งผลให้

การทำงานจรูปร่างของระบบควบคุมกักเก็บของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจ่ายกำลังไฟฟ้า ออกมาน้อยตามลักษณะจรูปร่างหรือกล่าวได้ว่าระยะเวลาของกำลังทางกลที่ปรับให้มีค่าเท่ากับกำลังทาง ไฟฟ้าจะนานมากขึ้น ซึ่งการให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือนนี้อาจกล่าวได้ว่า ไม่เหมาะสมสำหรับการรักษาความถี่ต่ำสุดของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือหากพิจารณาผลของ การอนุพันธ์ความถี่  $d\omega_e / dt$  ของความถี่ต่ำสุดจะมีค่าเท่ากับ 0 ทำให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาเพื่อรักษาความถี่ของระบบ ดังนั้น การรักษาความถี่ไม่ให้ต่ำสุดจึง เป็นหน้าที่การทำงานตามลักษณะจรูปร่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสที่ต้องขับแรงบิดทาง กลให้เท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้านั่นเอง

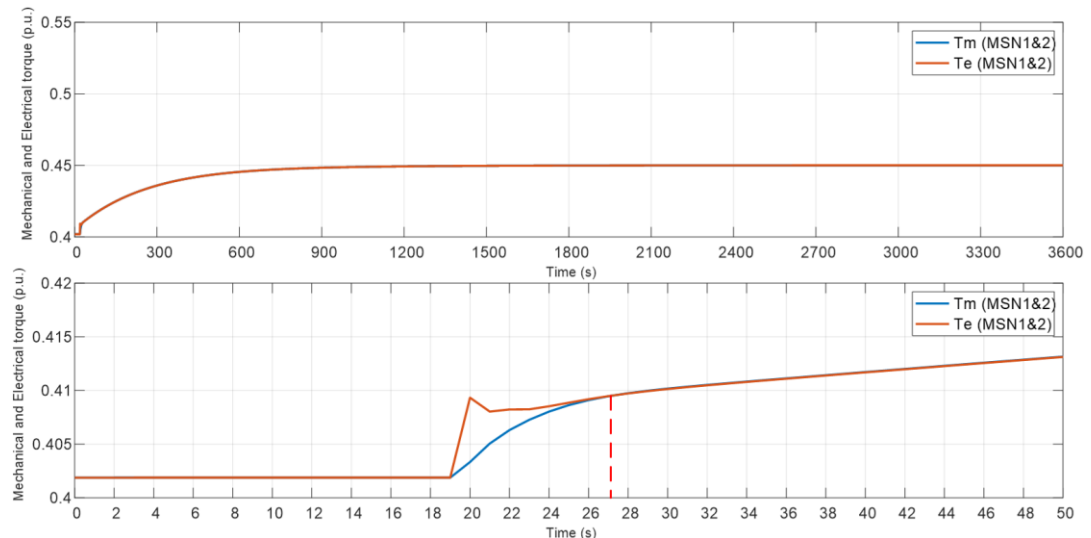
สำหรับแนวทางในการแก้ไขความถี่ต่ำของระบบ วิทยานิพนธ์นี้จะปรับระบบควบคุมของ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จากความเฉื่อยเสมือนเป็นระบบควบคุมความถี่ในช่วง องค์ประกอบความถี่สูงแทน ซึ่งมีผลการจำลองในหัวข้อถัดไป

### 6.1.3.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ช่วงองค์ประกอบความถี่สูง (กรณี 1.3.2)

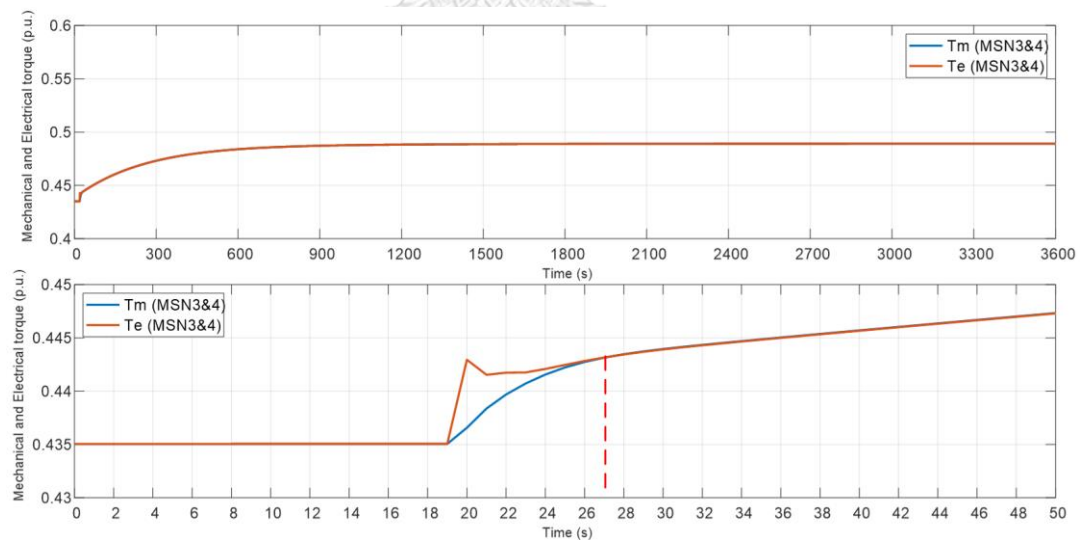
ผลการจำลองระบบที่มีโมเมนต์ความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บ ประจุซิงโครนัส มีค่าเท่ากับ 1300.89 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง เมื่อให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูง เพื่อไม่ให้เข้าไปทำงานในช่วงการ ทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กในระบบพบว่าลักษณะแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในช่วงที่เริ่มเกิดความ ผันผวนของโหลดจะไม่สามารถตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.36 - รูปที่ 6.38 และเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะจ่าย พลังงานจลน์สะสมออกมาในรูปแบบแรงบิดทางไฟฟ้าในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ก่อนที่ การตอบสนองปฐมภูมิจะเริ่มช่วยดึงความถี่ขึ้นมา ดังรูปที่ 6.39 - รูปที่ 6.40

นอกจากนี้หากพิจารณาในเชิงกำลังก็จะเห็นได้ว่ากำลังทางกลของทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ยังคงไม่สามารถตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทันเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.41- รูปที่ 6.42 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมด ตัวเก็บประจุซิงโครนัสที่ช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.43 รวมถึงระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ก็ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.44 ซึ่งช่วยให้ความผันผวนของโหลดหรือการกระจายโหลด ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสมีขนาดที่ลดลงในช่วงก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว

วิธีนี้ที่ออกแบบให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงเพื่อต้องการให้ความถี่ต่ำสุดของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผลจากการจำลองระบบสอดคล้องตามความต้องการที่คาดหวังไว้ โดยมีความถี่ต่ำสุดที่ 49.53 เฮิรตซ์ ในช่วงวินาทีที่ 27 ดังรูปที่ 6.45 เป็นช่วงที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้าและแรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าตามลักษณะรูปนี้เอง

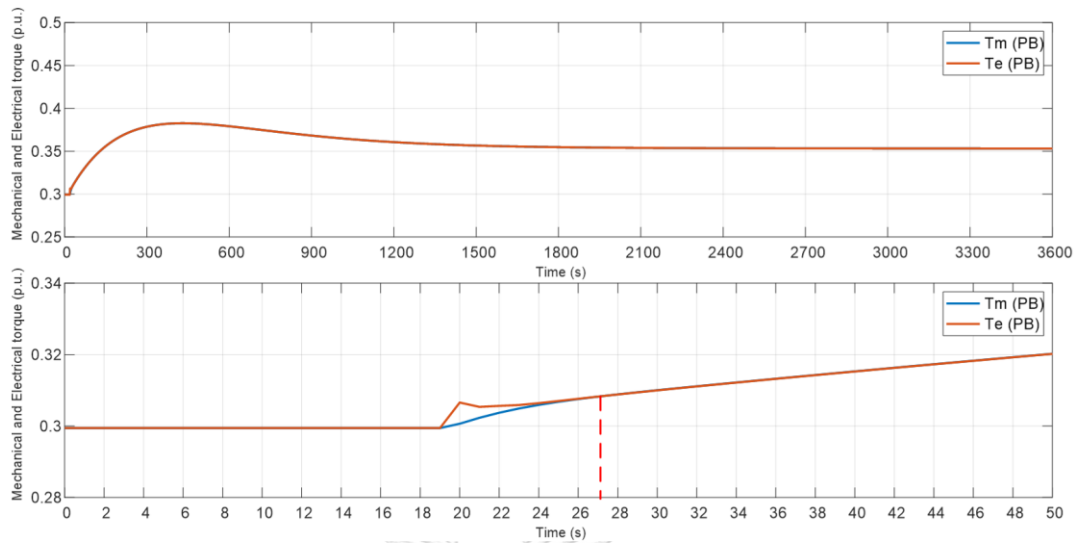


รูปที่ 6.36 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 1.3.2)

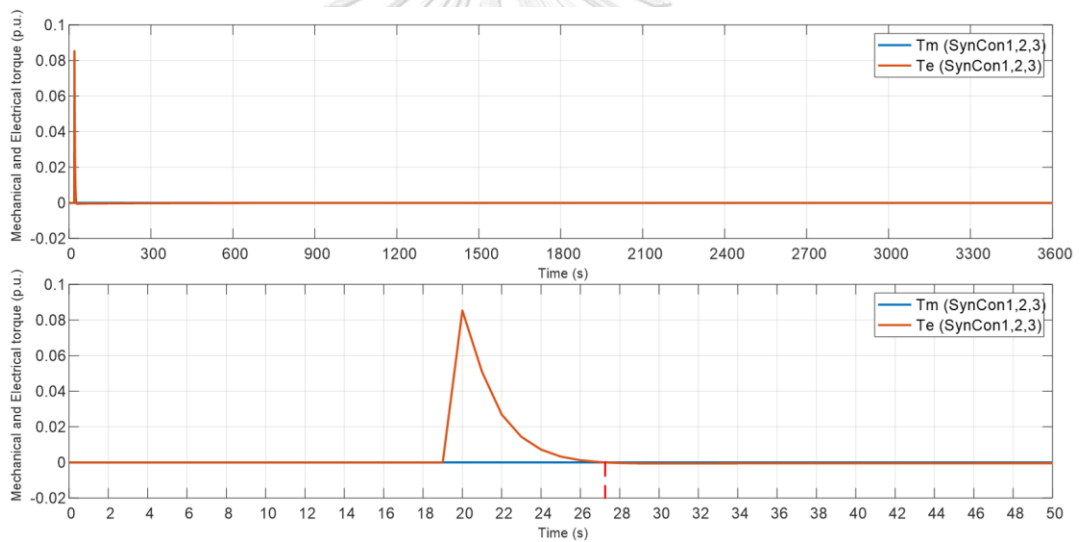


รูปที่ 6.37 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 1.3.2)

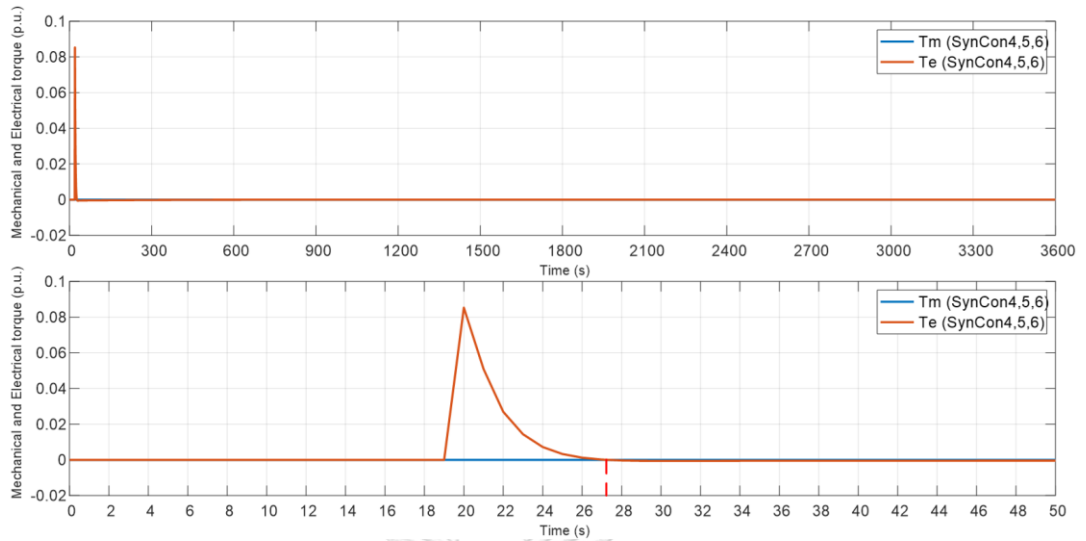




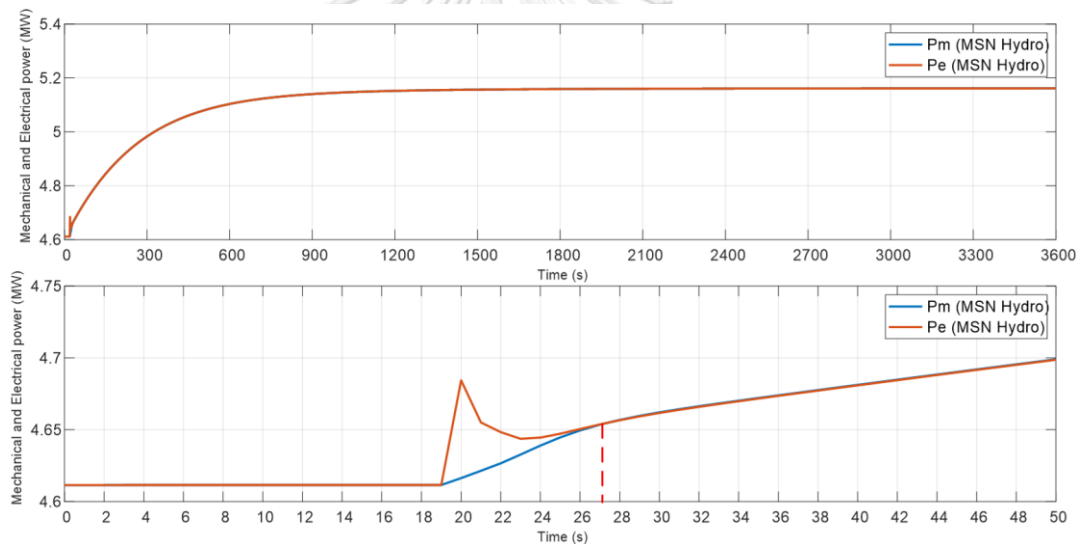
รูปที่ 6.38 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)



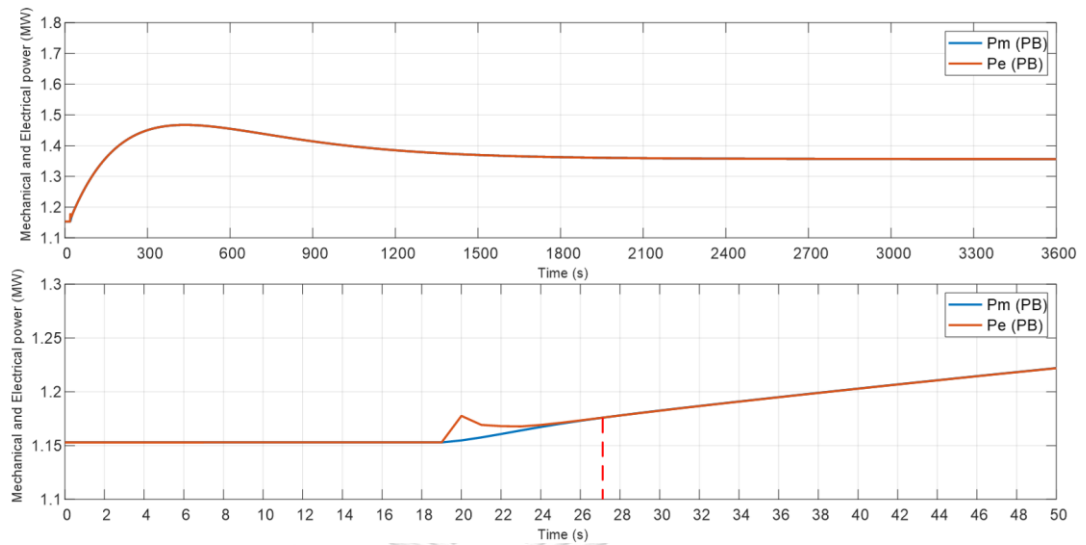
รูปที่ 6.39 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าตึเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)



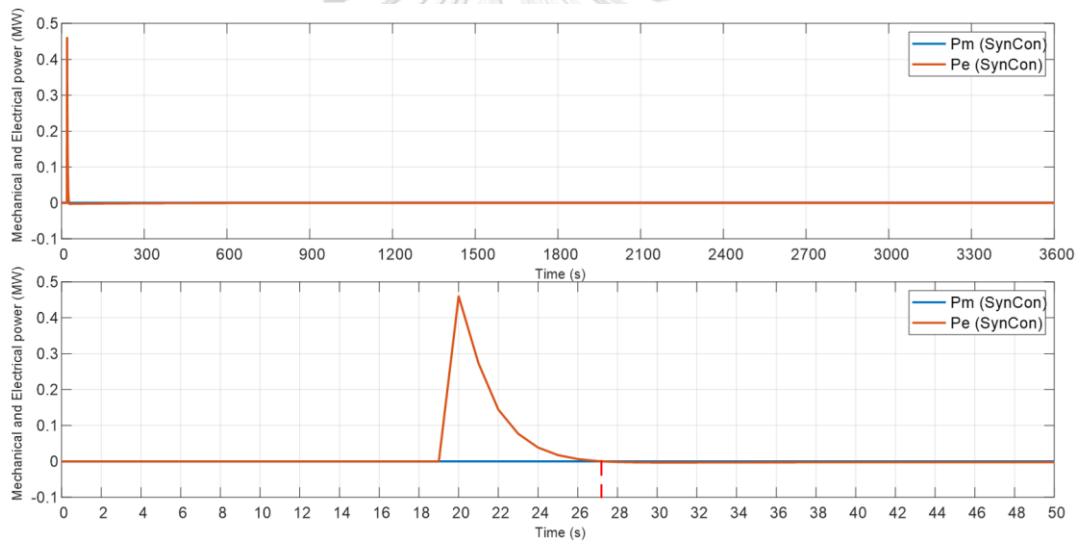
รูปที่ 6.40 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 1.3.2)



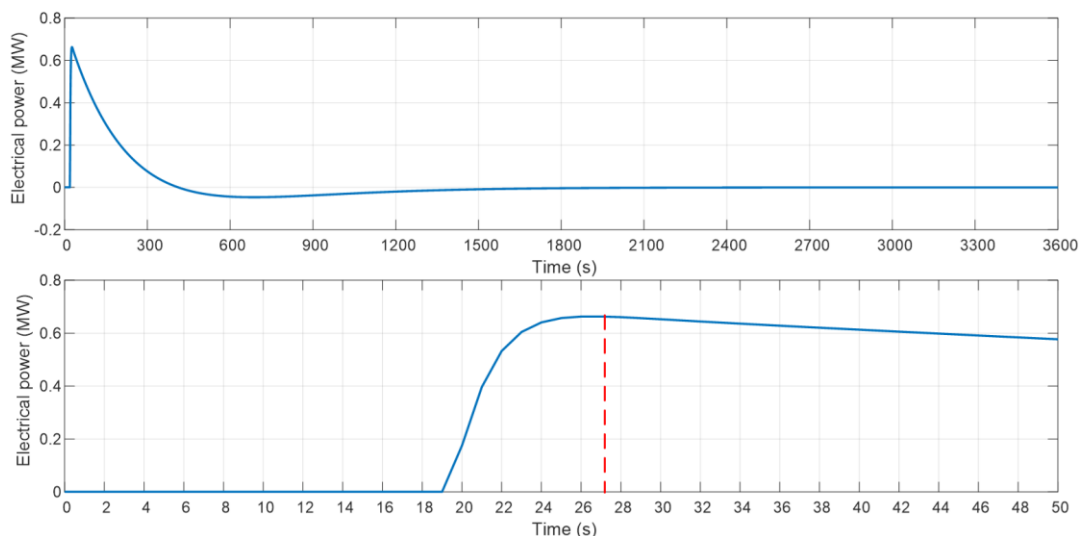
รูปที่ 6.41 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 1.3.2)



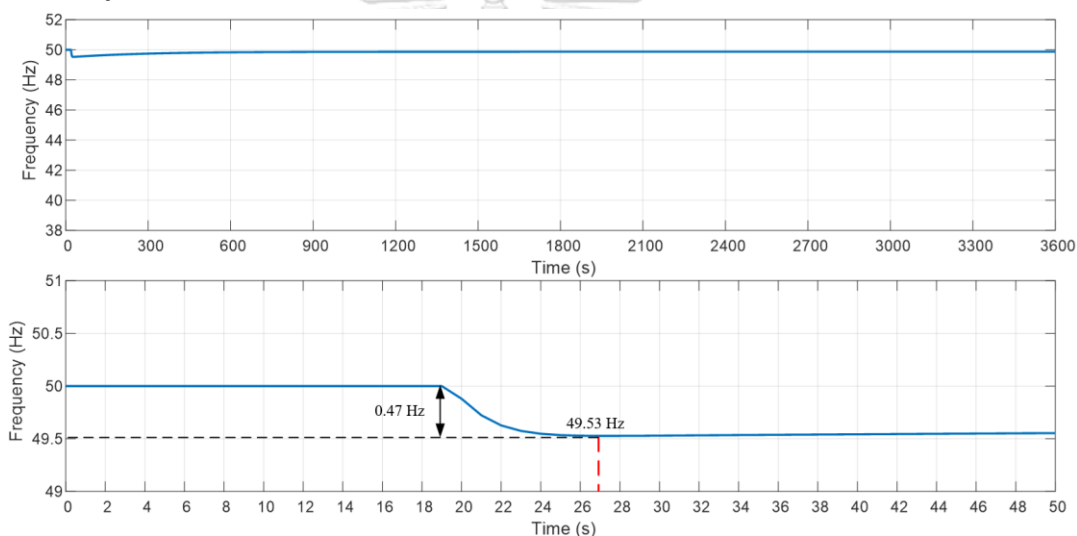
รูปที่ 6.42 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)



รูปที่ 6.43 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)



รูปที่ 6.44 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)



รูปที่ 6.45 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)

จากผลการจำลองระบบเมื่อในระบบมีความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 52.28 และ 1094.25 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ตามลำดับ ทำให้ในระบบมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 1300.89 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งคาดหวังว่าการเพิ่มขึ้นนี้จะช่วยให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเฉื่อยช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่ความถี่ต่ำสุดของระบบอยู่นอกช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยและไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามที่คาดหวังไว้ ดังนั้น จึงมีแนวทางในการนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาช่วยในการลดความเบี่ยงเบนของความถี่ให้ความถี่อยู่ใน

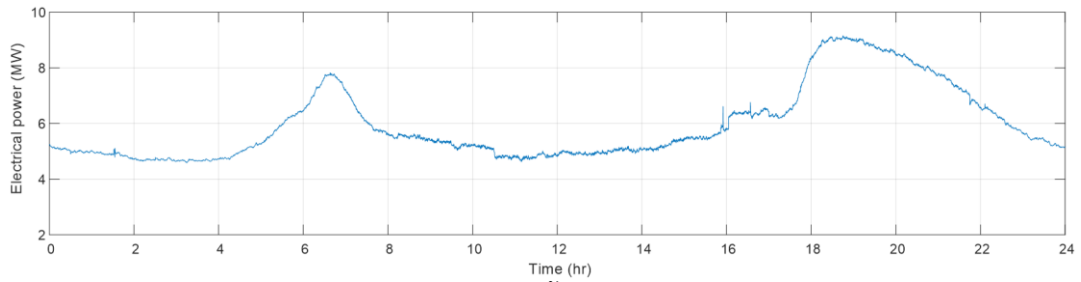
เกณฑ์ที่กำหนด โดยการให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือนอาจจะไม่ตอบ  
 โจทย์ในการลดความถี่ต่ำสุดของระบบ เนื่องจากความถี่ต่ำสุดของระบบ ระบบกักเก็บพลังงานด้วย  
 แบตเตอรี่จะไม่มี การจ่ายพลังงานออกมา ในทางตรงกันข้าม การให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วย  
 แบตเตอรี่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงจะจ่ายกำลังทางไฟฟ้ามาช่วยใน  
 ช่วงเวลาที่เกิดความถี่ต่ำสุดได้ ส่งผลระบบรูปชั่วขณะของระบบควบคุมกักเก็บสามารถขยับแรงบิด  
 ทางกลให้เท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลให้เท่ากำลังทางไฟฟ้าได้ดีขึ้น ทำให้ความถี่ของ  
 ระบบอยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนดได้

#### 6.1.4 ผลการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง

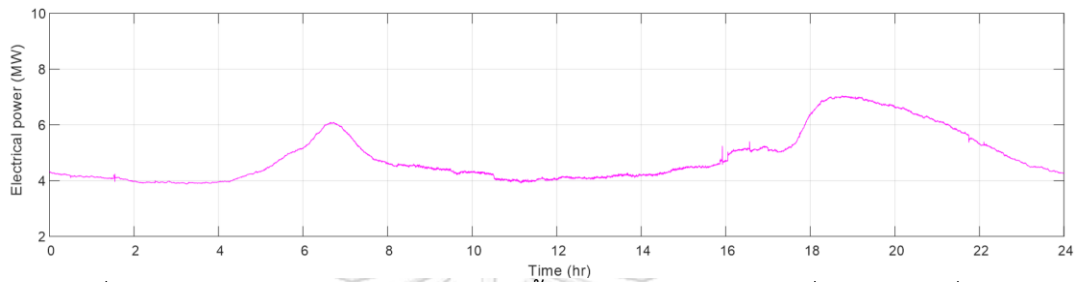
จากวิธีต่าง ๆ ของกรณีศึกษาที่ 1 – 1.3.2 สามารถจำลองระบบในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง  
 24 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มความเฉื่อยเพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงาน  
 น้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส  
 สามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบได้ รวมถึงในการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน  
 ด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนหรือระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงจะช่วยลด  
 ความเบี่ยงเบนของความถี่ได้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และหากสังเกตความถี่ของระบบในระยะเวลานาน  
 หรือช่วงความผันผวนความถี่ระยะยาวจะเห็นว่าความถี่ที่ยังคงเกินอยู่เนื่องจากกำลังของโหลดระยะ  
 ยาว (ความผันผวนระยะยาว) ที่เพิ่มขึ้นและการที่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอแม่ฮ่องสอน  
 มีเพียงการตอบสนองของความเฉื่อยและปฏิกิริยาเท่านั้น ความถี่จึงไม่ได้กลับมาที่ 50 เฮิร์ตซ์  
 ดังที่ได้แสดงผลในความผันผวนของโหลดราย 10 วินาที ข้างต้น สามารถแสดงพฤติกรรมการทำงาน  
 ของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ในพื้นที่ได้ใน 24 ชั่วโมง ดังนี้

##### 6.1.4.1 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในวันที่มีความผันผวน ของโหลดสูง

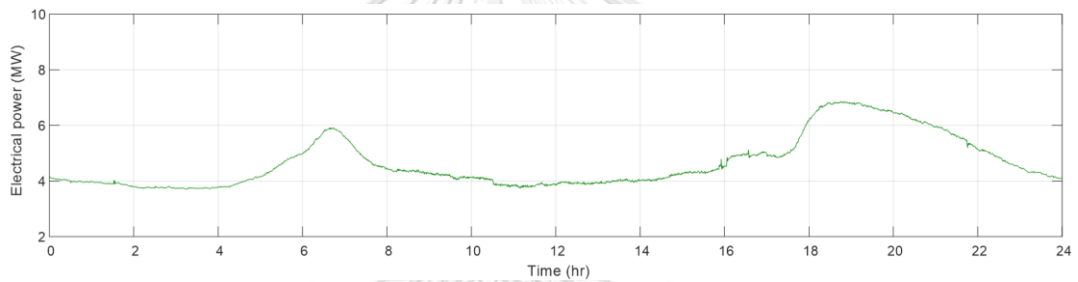
กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาในแต่ละกรณีมีพฤติกรรมระยะยาวที่  
 เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในบริเวณความผันผวนระยะสั้น สังเกตได้ว่าลักษณะความผันผวนของ  
 กำลังผลิตจะค่อย ๆ เรียบขึ้นเมื่อในระบบมีความเฉื่อยและกำลังผลิตรวมเพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้าภายใน  
 พื้นที่ ดังรูปที่ 6.46 - รูปที่ 6.50 ตามลำดับ



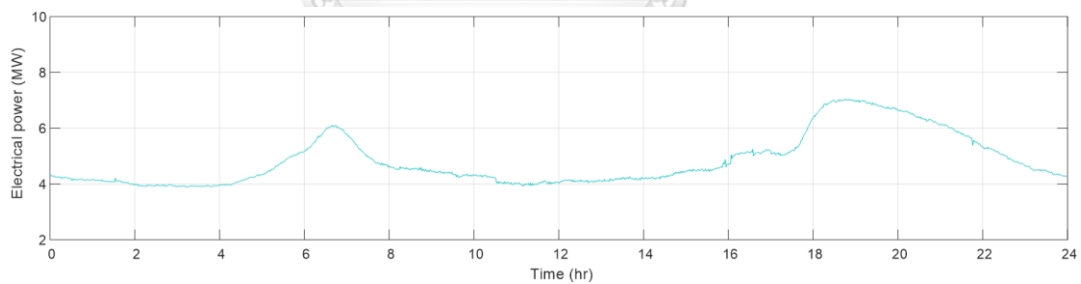
รูปที่ 6.46 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1)



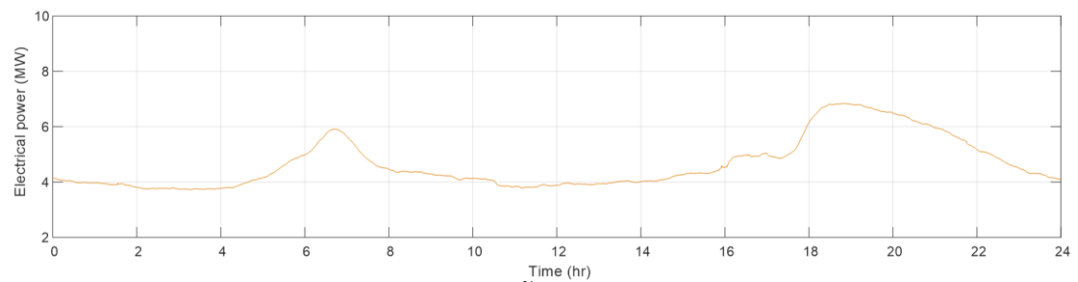
รูปที่ 6.47 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.1)



รูปที่ 6.48 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.2)



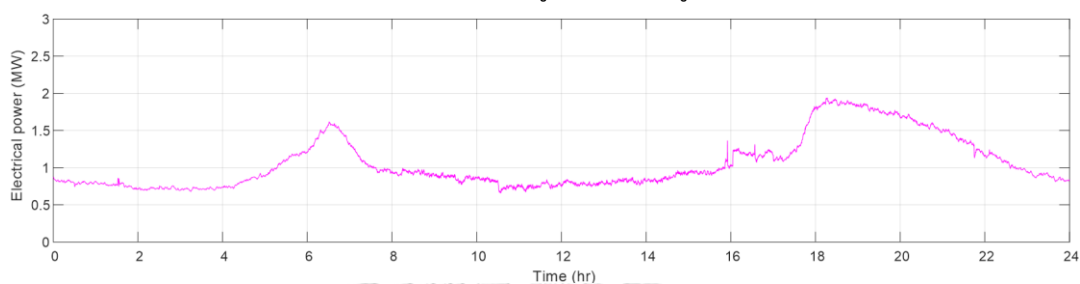
รูปที่ 6.49 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.1)



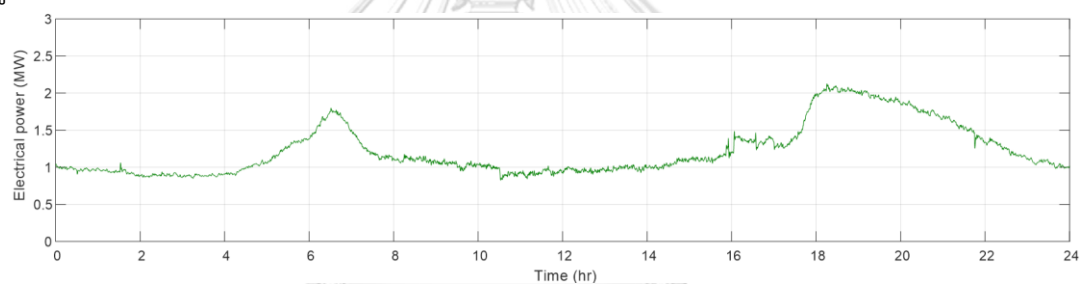
รูปที่ 6.50 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.2)

### 6.1.4.2 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง

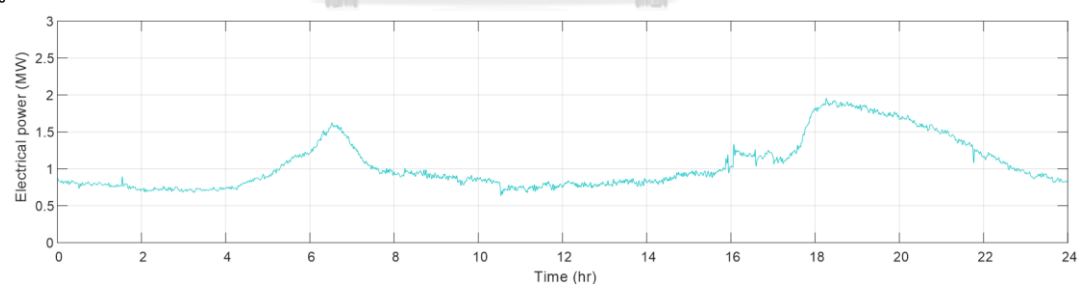
กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในแต่ละกรณีมีพฤติกรรมระยะยาวที่เหมือนกันและมีลักษณะคล้ายกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา เนื่องจากเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในบริเวณความผันผวนระยะสั้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสังเกตได้ว่าลักษณะความผันผวนของกำลังผลิตจะค่อย ๆ เรียบขึ้นเมื่อในระบบมีความเฉื่อยและกำลังผลิตรวมเพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ ดังรูปที่ 6.51 - รูปที่ 6.54 ตามลำดับ



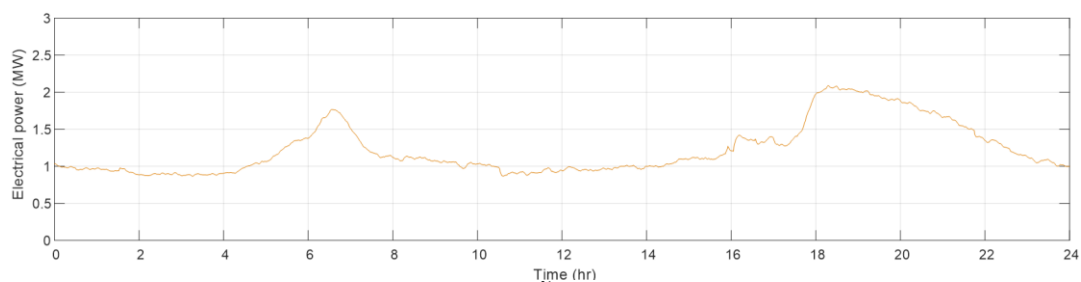
รูปที่ 6.51 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.1)



รูปที่ 6.52 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.2)



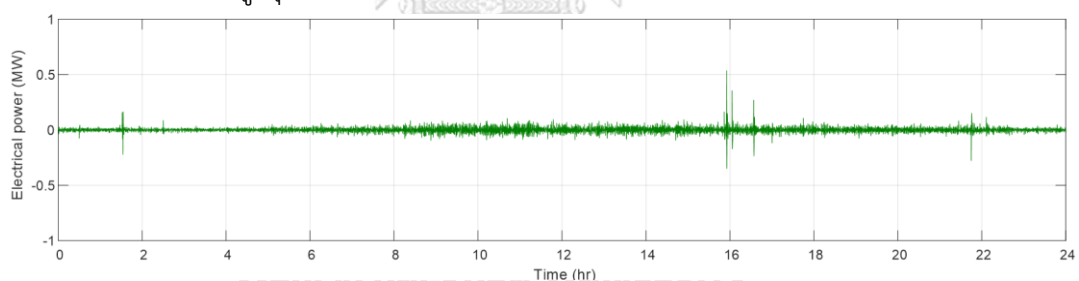
รูปที่ 6.53 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.1)



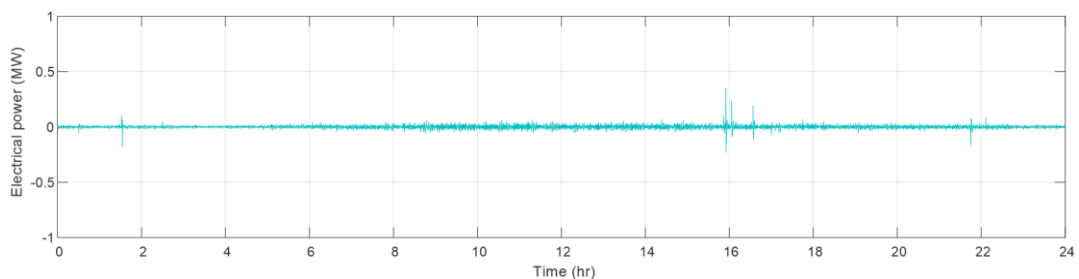
รูปที่ 6.54 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีศึกษาที่ 1.3.2)

#### 6.1.4.3 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง

สำหรับกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสนั้นจะมีลักษณะไม่เหมือนกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เนื่องจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสจะรับ - จ่ายพลังงานจลน์สะสมในรูปแบบของกำลังผลิตมาแค่ในช่วงที่โหลดมีความผันผวนระยะสั้นหรือตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ดังรูปที่ 6.55 - รูปที่ 6.57 โดยกำลังผลิตสูงสุดประมาณ 0.6 เมกะวัตต์ หรือมีกำลังผลิตสูงสุดเท่ากับความผันผวนของโหลดสูงสุดราย 10 วินาที ดังที่ได้แสดงผลข้างต้น

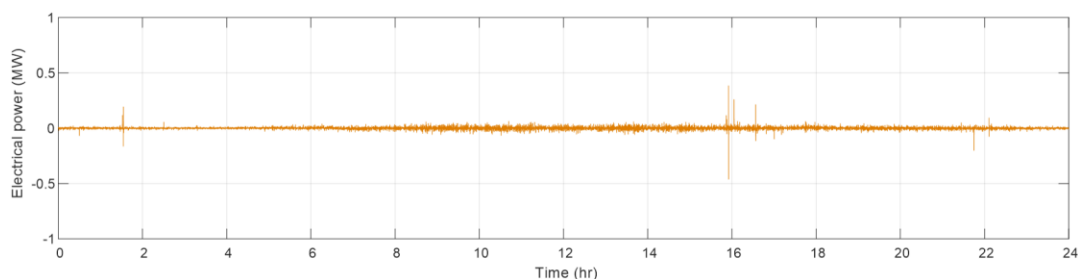


รูปที่ 6.55 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง  
(กรณีศึกษาที่ 1.2)



รูปที่ 6.56 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง  
(กรณีศึกษาที่ 1.3.1)

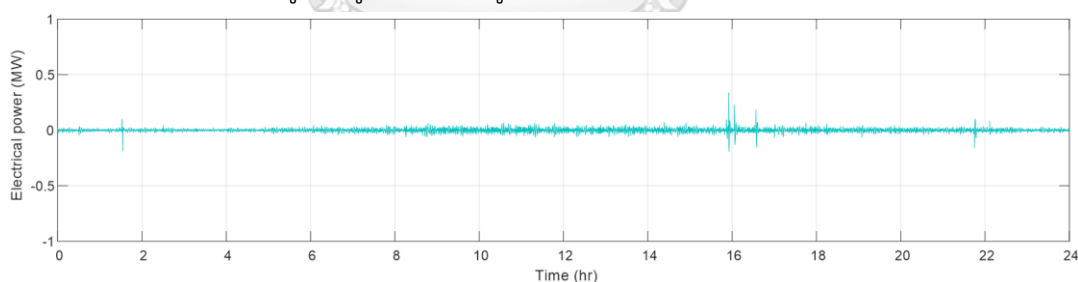




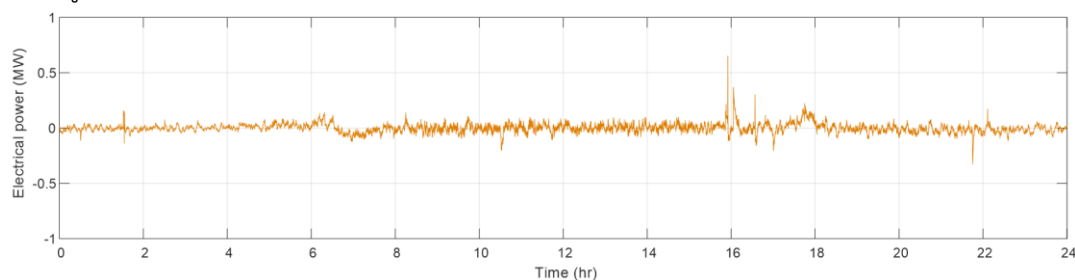
รูปที่ 6.57 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุจิวโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)

#### 6.1.4.4 พฤติกรรมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง

สำหรับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่นั้นเรานำมาเพื่อลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบให้ความถี่ต่ำสุดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่ด้วยลักษณะของความผันผวนระยะยาวของโหลดรวมถึงในระบบมีเพียงการตอบสนองของความถี่และปฐมภูมินั้นทำให้ความถี่ระยะยาวเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ดังจะแสดงในหัวข้อถัดไป อย่างไรก็ตาม การทำให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบนั้น หากเปรียบเทียบระหว่างวิธีความถี่เสมือนและระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูง จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมกำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในวิธีความถี่เสมือนนั้นมีกำลังผลิตน้อยกว่าวิธีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูง ดังรูปที่ 6.58 - รูปที่ 6.59 ตามลำดับ



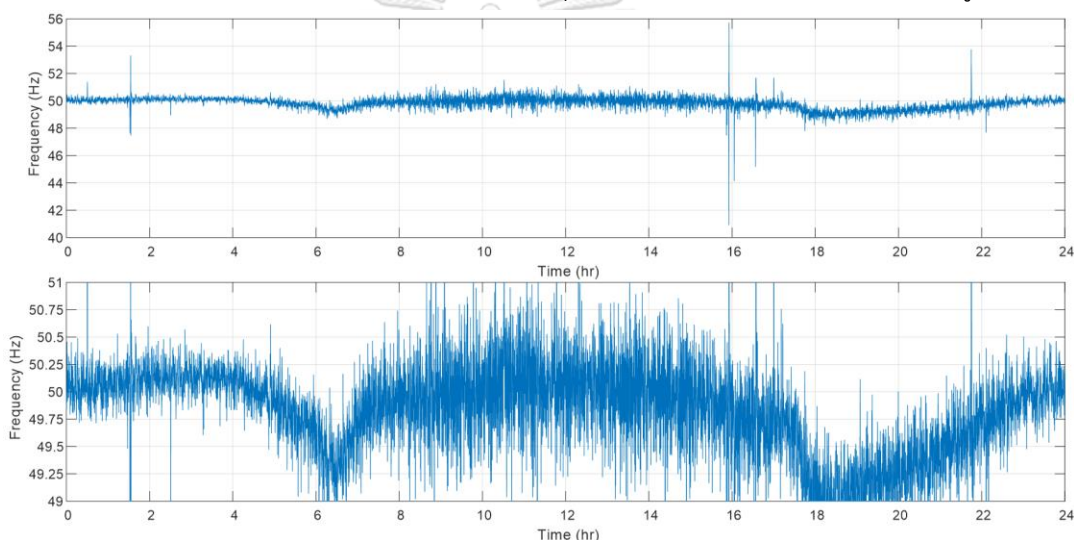
รูปที่ 6.58 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.1)



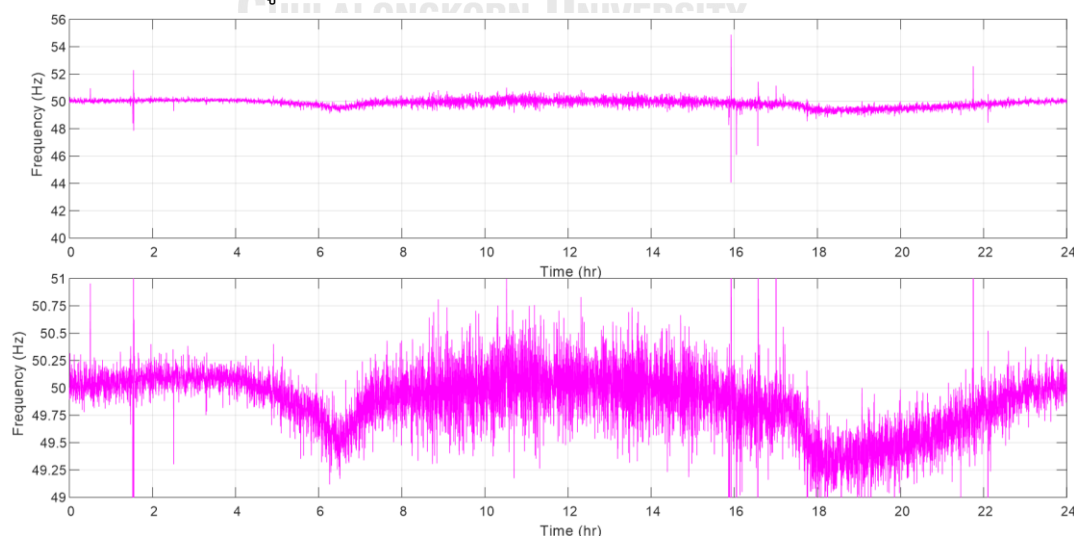
รูปที่ 6.59 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 1.3.2)

#### 6.1.4.5 ความถี่ของระบบ ในวันที่มีความผันผวนของโหลดสูง

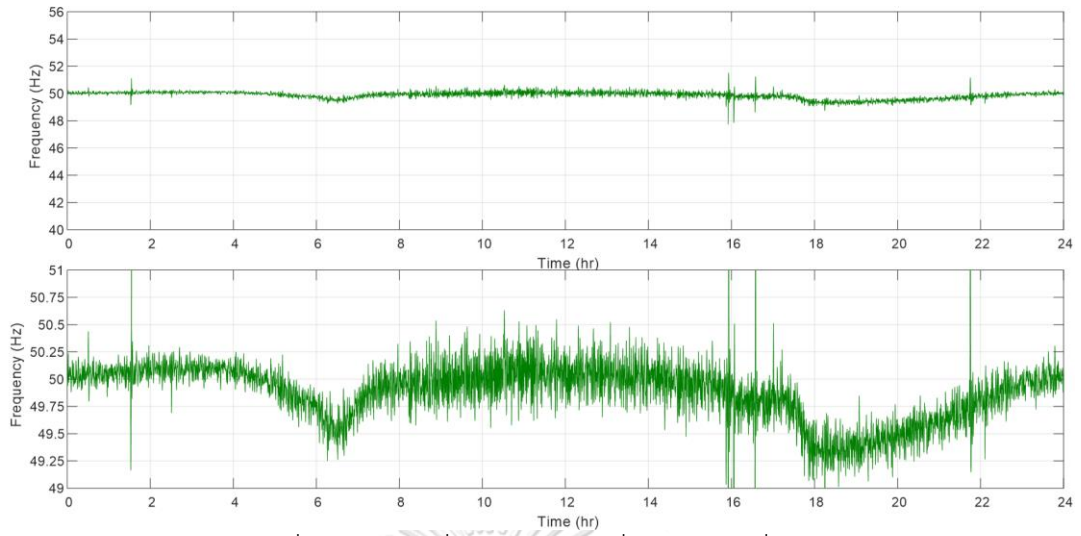
จากพฤติกรรมและการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ทั้งหมดที่แสดงมานั้น ส่งผลให้ความผันผวนของความถี่ระบบในระยะสั้นนั้นมีลักษณะความผันผวนที่ลดลง ดังรูปที่ 6.60 - รูปที่ 6.64 ตามลำดับ แต่ที่ความถี่ของระบบยังคงเกินขอบเขตอยู่นั้น มาจากการที่ในระบบมีเพียงการตอบสนองของความเฉื่อยและปฐมภูมิเท่านั้น ทำให้ความถี่ของระบบไม่ได้กลับมาสู่ 50 เฮิรตซ์ นอกจากนี้ในการลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดด้วยความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ซึ่งให้เห็นว่าการใช้วิธีนี้ไม่สามารถลดความเบี่ยงเบนของความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้เหมือนดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นหากต้องการลดความเบี่ยงเบนของความถี่ด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ควรจะใช้วิธีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงมากกว่า



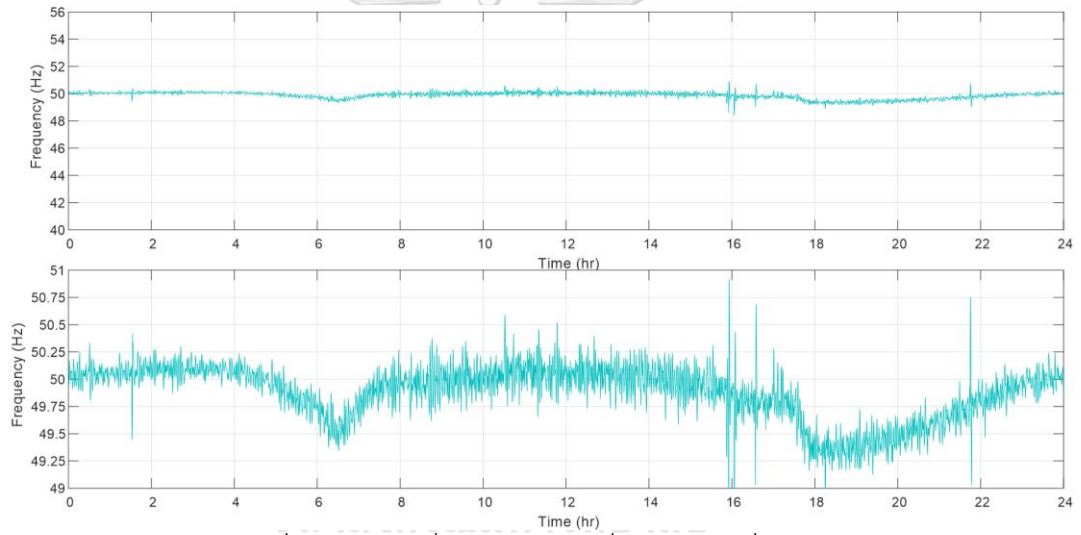
รูปที่ 6.60 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1)



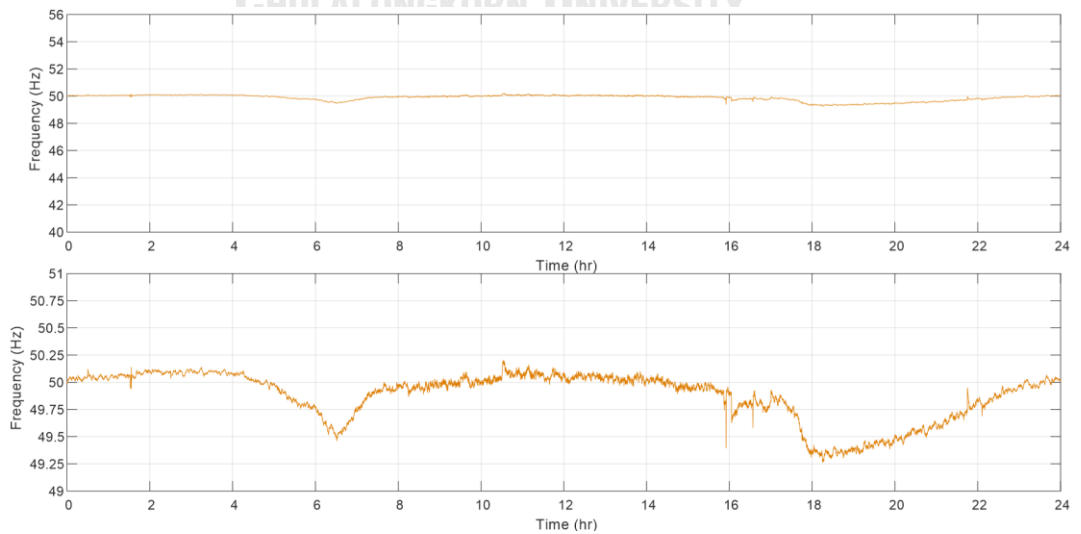
รูปที่ 6.61 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.1)



รูปที่ 6.62 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.2)



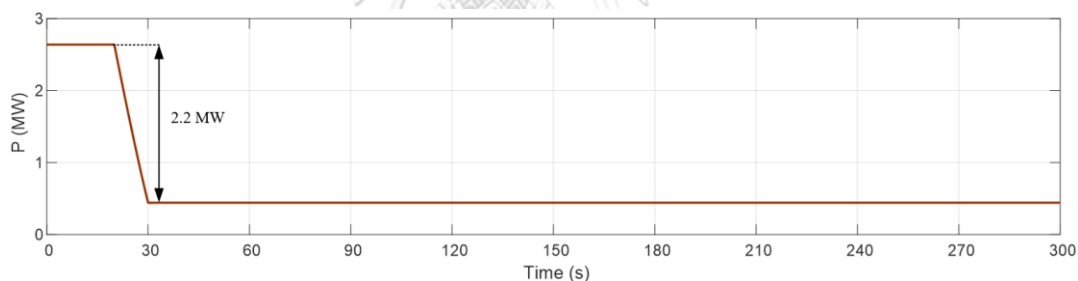
รูปที่ 6.63 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.1)



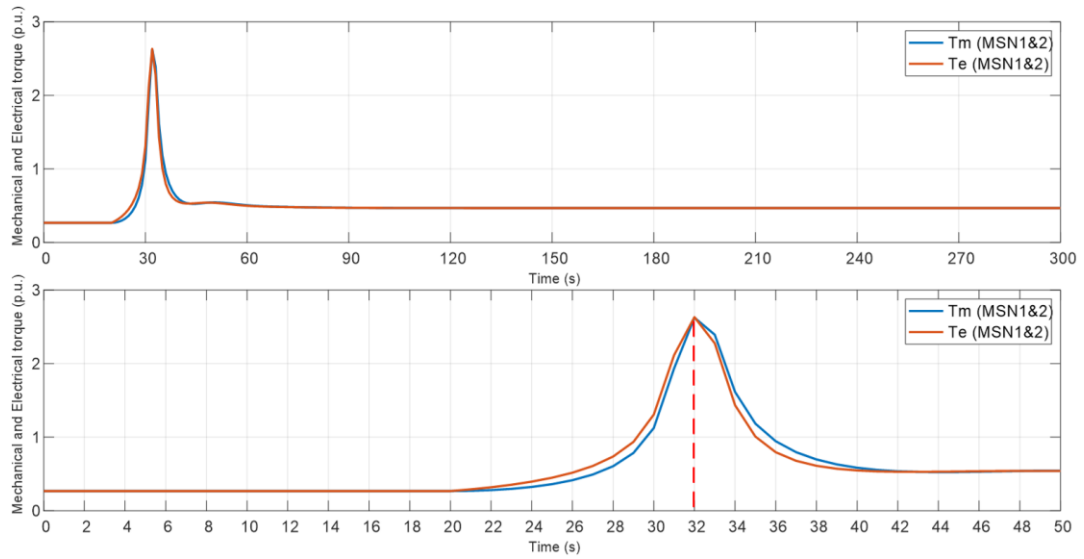
รูปที่ 6.64 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 1.3.2)

## 6.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีศึกษาที่ 2)

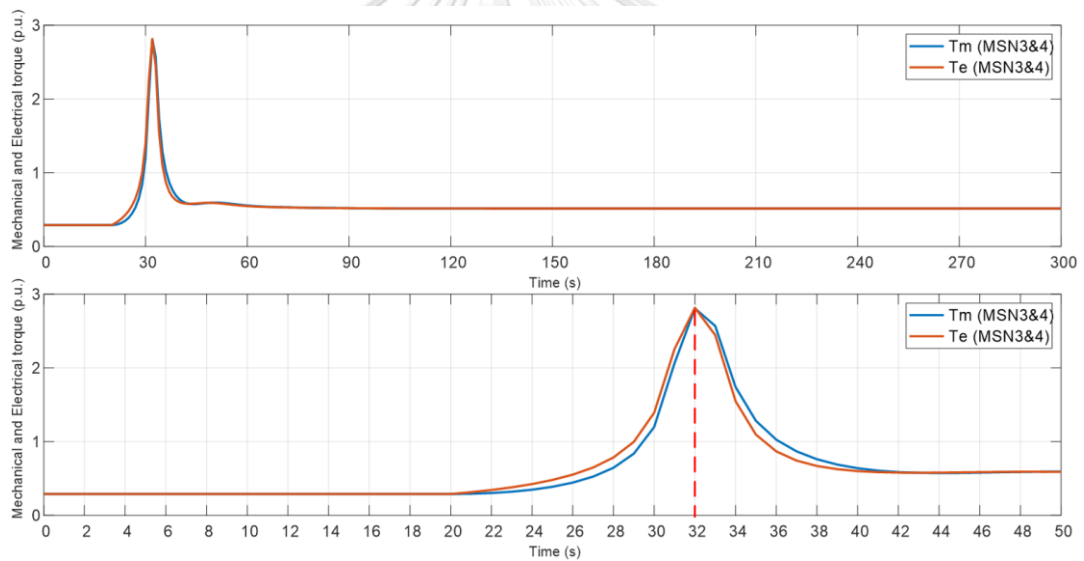
สำหรับในกรณีนี้ในระบบมีโหลดคงที่และเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบลาดเอียง ดังรูปที่ 6.65 ทำให้แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแรงบิดทางกลจะเปลี่ยนแปลงช้ากว่าแรงบิดทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.66 - รูปที่ 6.67 สำหรับกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงามีลักษณะเช่นเดียวกันกับแรงบิด กล่าวคือกำลังทางกลยังคงมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่ากำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.68 ส่งผลทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่ 41.37 เฮิร์ตซ์ หรือมีความถี่ต่ำสุด 8.63 เฮิร์ตซ์ ในช่วงประมาณวินาทีที่ 32 ดังรูปที่ 6.69 ซึ่งเป็นช่วงที่แรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้านั่นเอง นอกจากนี้หากพิจารณาในเชิงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบพบว่าช่วงการตอบสนองของความถี่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ -1.41 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.70 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในบทที่ 5 ที่ -1.45 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที



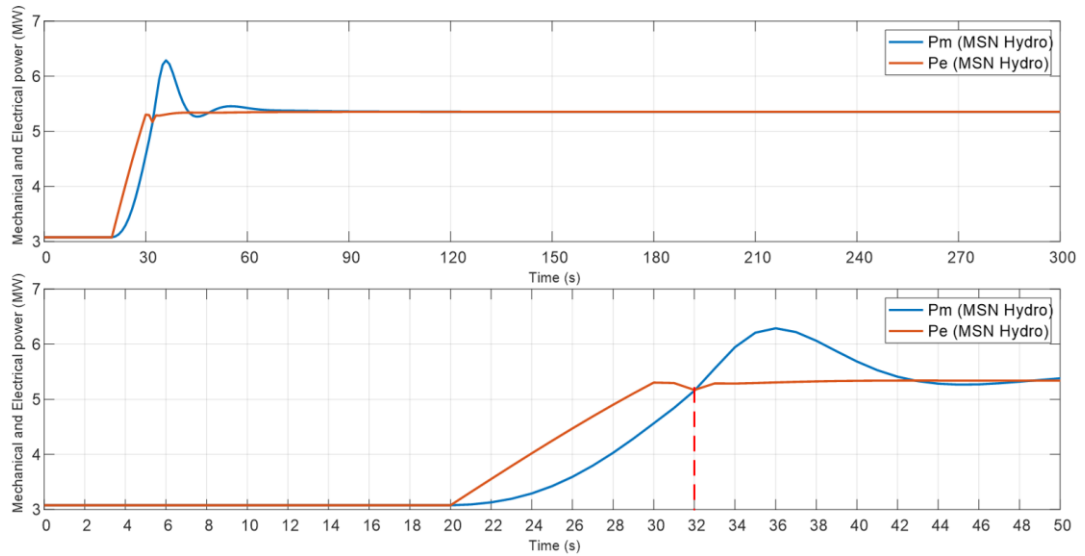
รูปที่ 6.65 ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง 2.2 เมกะวัตต์ (กรณีศึกษาที่ 2)



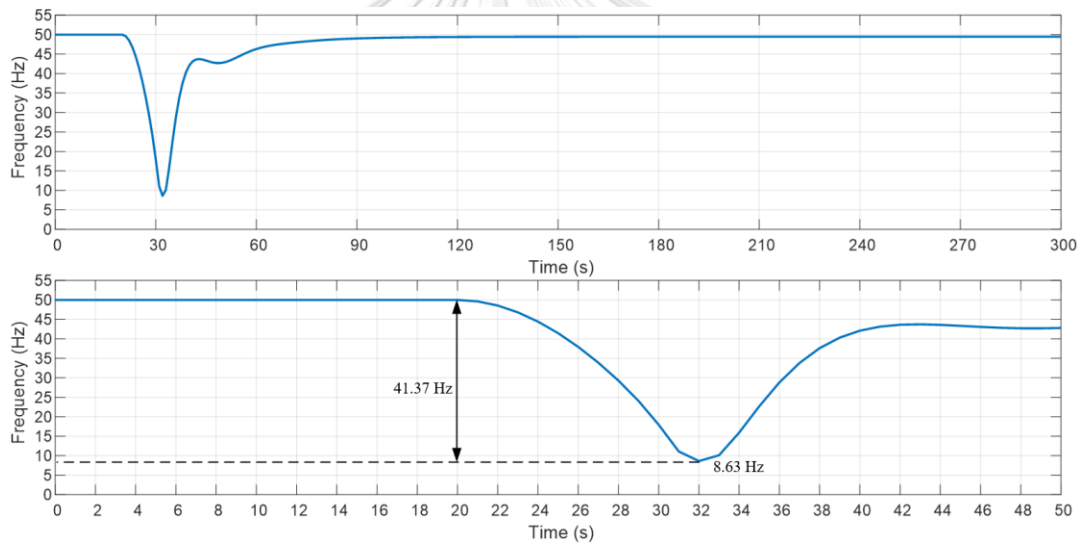
รูปที่ 6.66 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2)



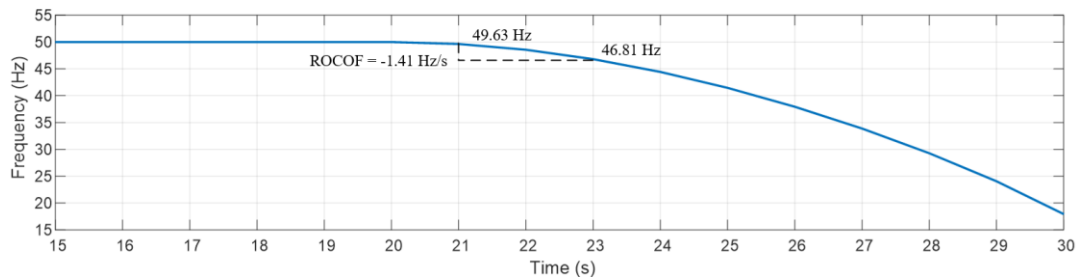
รูปที่ 6.67 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2)



รูปที่ 6.68 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2)



รูปที่ 6.69 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 2)



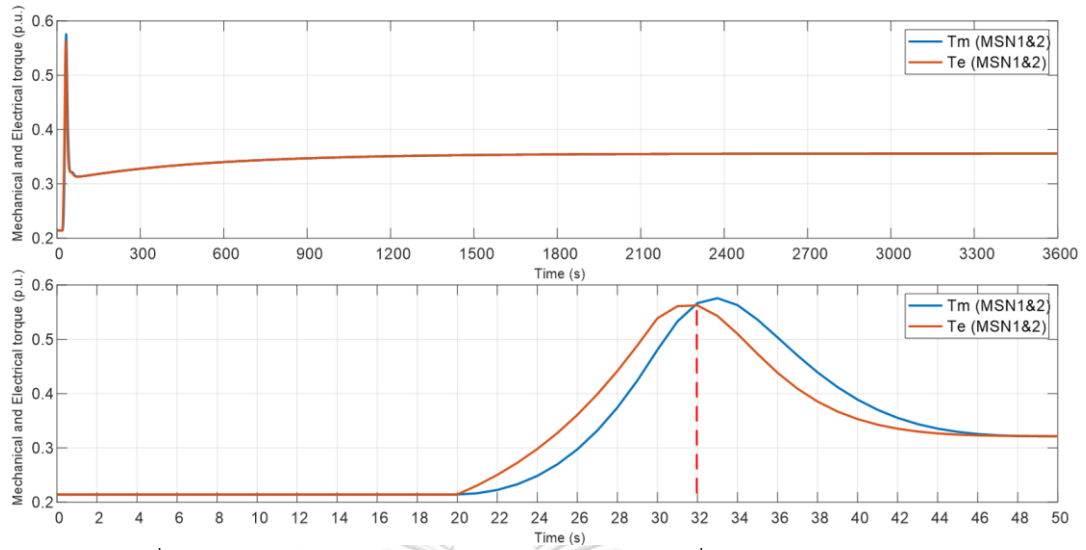
รูปที่ 6.70 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 2)

จากการจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอแม่ฮ่องสอนที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที หรือโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง เมื่อมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ส่งผลทำให้

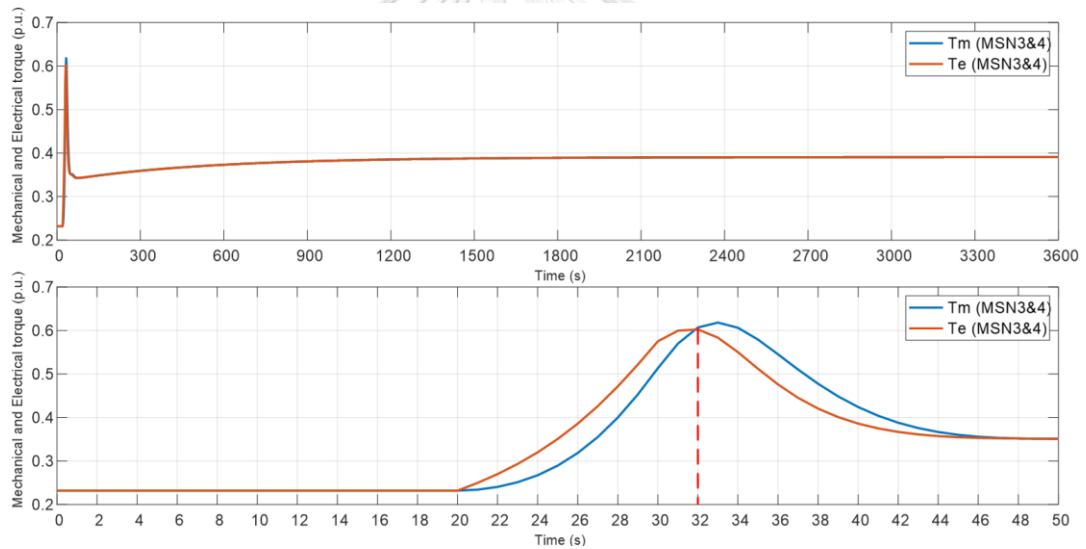
ความถี่ของระบบเกินเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้เช่นเดียวกันเหมือนในกรณีความผันผวนของโหลด ดังนั้น ในลำดับถัดไปจะเป็นผลการจำลองระบบการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ (วิธีการเช่นเดียวกันกับความผันผวนของโหลด) ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสและระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ตามลำดับ ซึ่งคาดหวังว่าการเพิ่มเติมความถี่ดังกล่าวจะช่วยให้ความถี่ของระบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้นและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

### 6.2.1 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี 2.1)

ผลการจำลองของระบบเมื่อเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความถี่ 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ส่งผลให้โมเมนต์ความถี่โดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นเป็น 206.7 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 5 ซึ่งผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอนยังคงมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่าแรงบิดทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.71 - รูปที่ 6.72 และแรงบิดทางกลกับแรงบิดทางไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีพฤติกรรมการทำงานเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.73 หรือในเชิงกำลังทางกลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอนก็ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.74 กำลังทางกลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.75 ถึงแม้ว่าความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีลักษณะลาดเอียงก็ตามแต่ความถี่ของระบบยังไม่เพียงพอ รวมถึงครูปัจจุบันของระบบควบคุมกักเก็บก็ไม่สามารถที่สั่งการผลิตกำลังออกมาได้ทันตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความถี่ทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่ลดลง แรงบิดทางกลหรือกำลังทางกลที่มาจากกลไกของทรูบจึงลดลงไปด้วย โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของทั้งสองโรงไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังทางกลให้เท่ากับกำลังทางไฟฟ้าได้ในวินาทีที่ 32 ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลดลงจาก 41.37 เฮิร์ตซ์ เป็น 20.66 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดจาก 8.63 เฮิร์ตซ์ เป็น 29.34 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.76 ซึ่งความถี่ดังกล่าวยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้อยู่ รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบก็ยังคงเกินเช่นกัน โดยมีค่าเท่ากับ -1.02 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.77 มีค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ไว้ที่ -1.09 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที

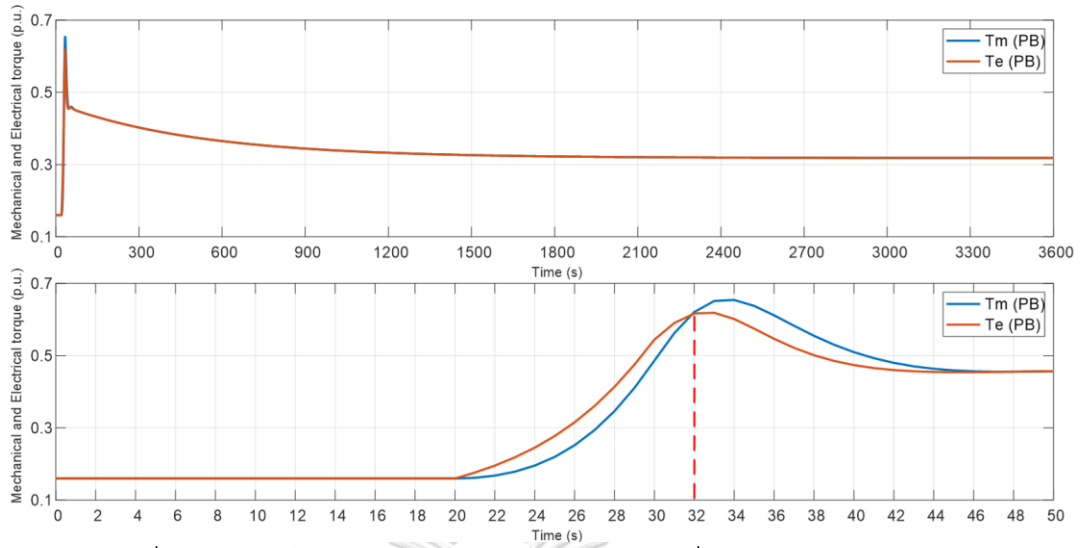


รูปที่ 6.71 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 2.1)

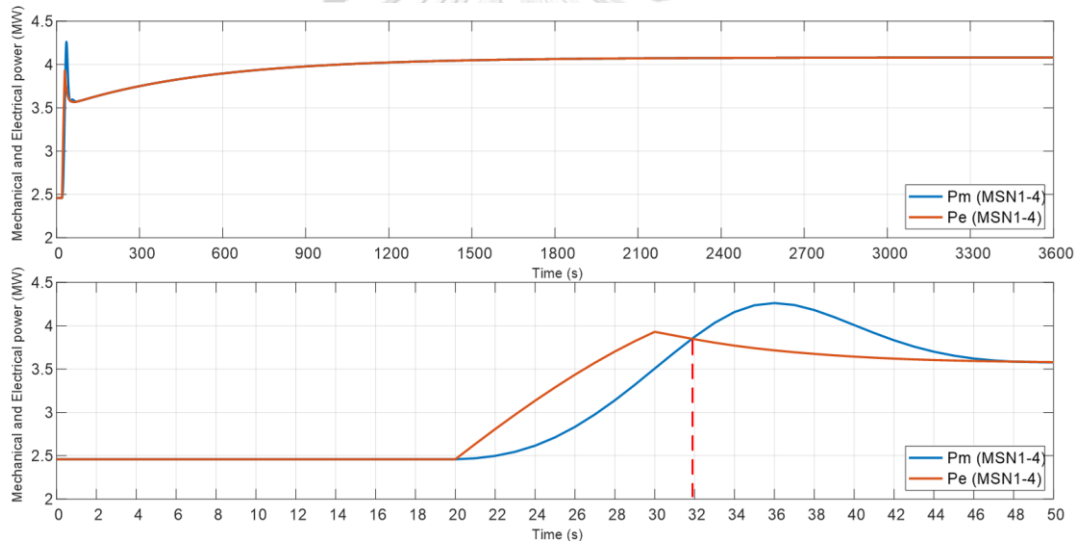


รูปที่ 6.72 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 2.1)

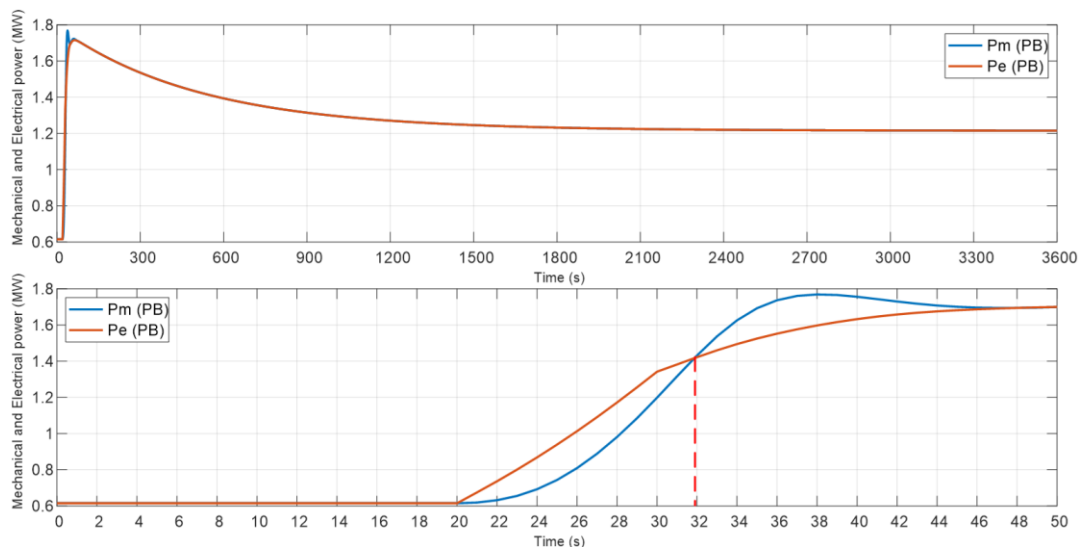




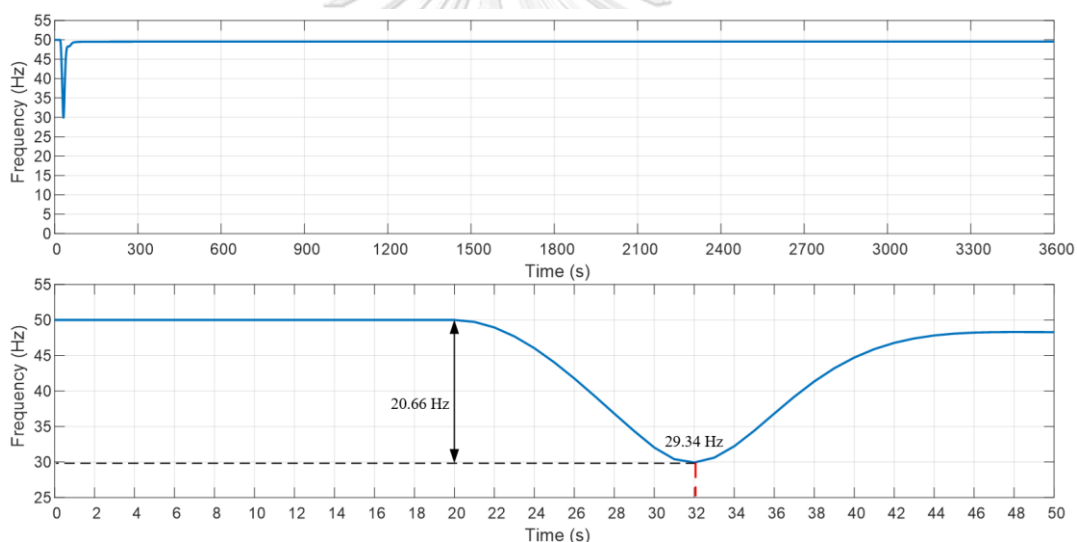
รูปที่ 6.73 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.1)



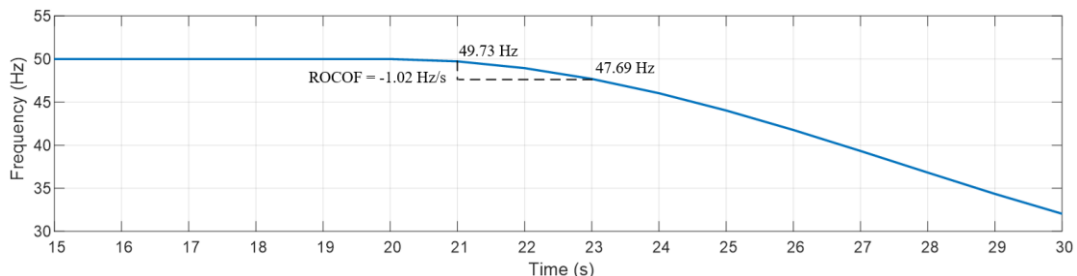
รูปที่ 6.74 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2.1)



รูปที่ 6.75 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.1)



รูปที่ 6.76 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 2.1)



รูปที่ 6.77 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณีที่ 2.1)

การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ทำให้ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่และอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้น แต่ยังคงไม่เพียงพอ

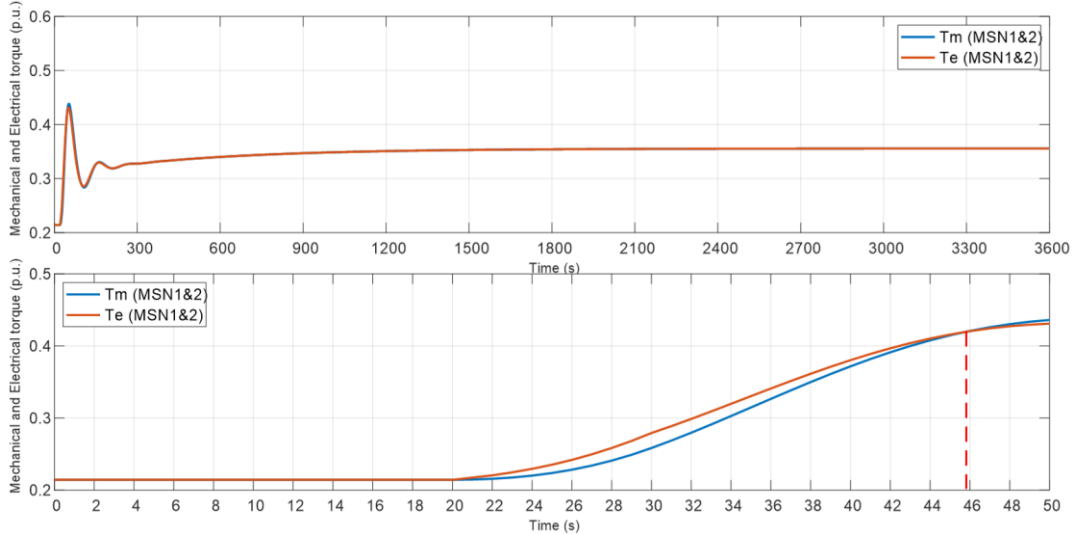
ต่อการรักษาความถี่ของระบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้อย่างที่วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 5 ดังนั้นในลำดับถัดไปจะเป็นการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส

## 6.2.2 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส (กรณี 2.2)

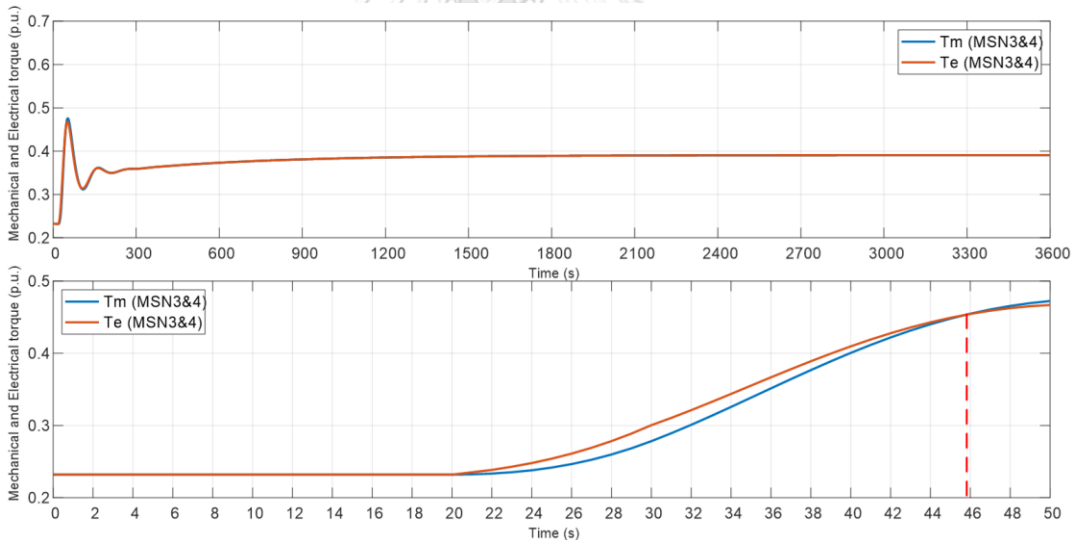
เมื่อเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความเฉื่อย 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสที่มีโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 1 – 3 เท่ากับ 202.64 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 4 – 6 เท่ากับ 162.11 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ส่งผลให้ความถี่ในระบบเพิ่มขึ้นตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทก่อนหน้านี้ ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอนยังคงไม่สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของความผันผวนของกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ทันเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ไวกว่า ดังรูปที่ 6.78 - รูปที่ 6.79 และแรงบิดทางกลกับแรงบิดทางไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีพฤติกรรมการทำงานเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.80 รวมถึงค่าพุ่งเกินในช่วงแรกของโรงไฟฟ้าทั้ง 5 โรง ยังมีขนาดเล็กลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสช่วยจ่ายแรงบิดทางไฟฟ้าให้กับระบบ ดังรูปที่ 6.81 - รูปที่ 6.82 ทำให้ลักษณะของความผันผวนของกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสต้องตอบสนองเสมือนมีขนาดเล็กลง

ในเชิงกำลังทางกลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอนและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็เช่นเดียวกันที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันกับกำลังทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนได้เร็วกว่า ดังรูปที่ 6.83 - รูปที่ 6.84 และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาช่วยในระบบตามการเปลี่ยนแปลงความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 6.85 ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลดลงจาก 41.37 เฮิร์ตซ์ เป็น 10.8 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดจาก 8.63 เฮิร์ตซ์ เป็น 39.20 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.86 ในประมาณวินาทีที่ 46 เป็นช่วงที่แรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และหากสังเกตจะพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะไม่จ่ายแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางไฟฟ้าออกมา เนื่องจากอนุพันธ์ของความถี่มีค่าเท่ากับ 0 โดยวิธีการเพิ่มเติมความถี่ในกรณีจะเห็นได้ว่าความถี่ต่ำสุดยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้อยู่ แต่ในเชิงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่

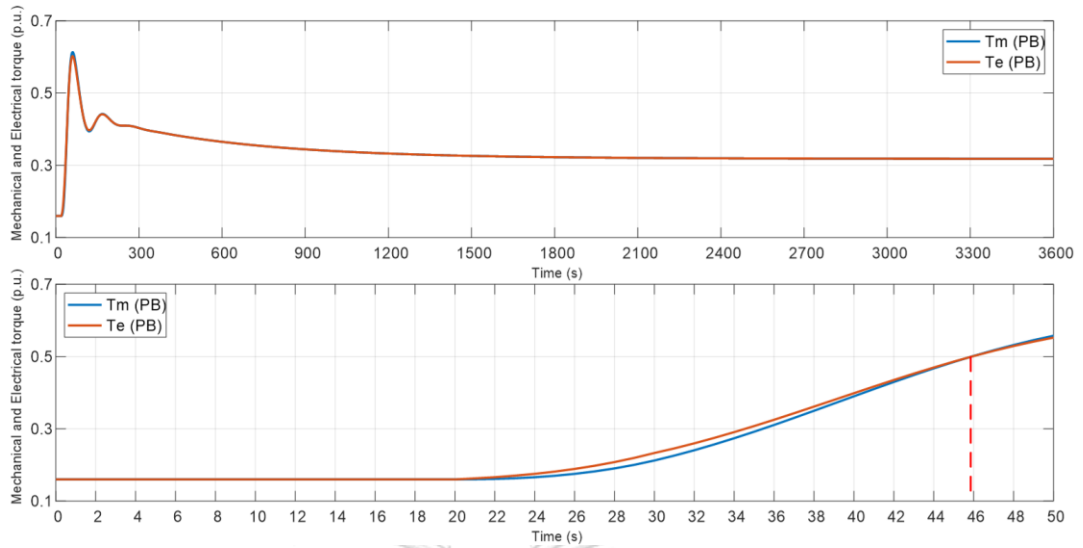
ของระบบนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีค่าเท่ากับ  $-0.0175$  เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.87  
 มีค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ไว้ที่  $-0.16$  เฮิร์ตซ์ต่อวินาที



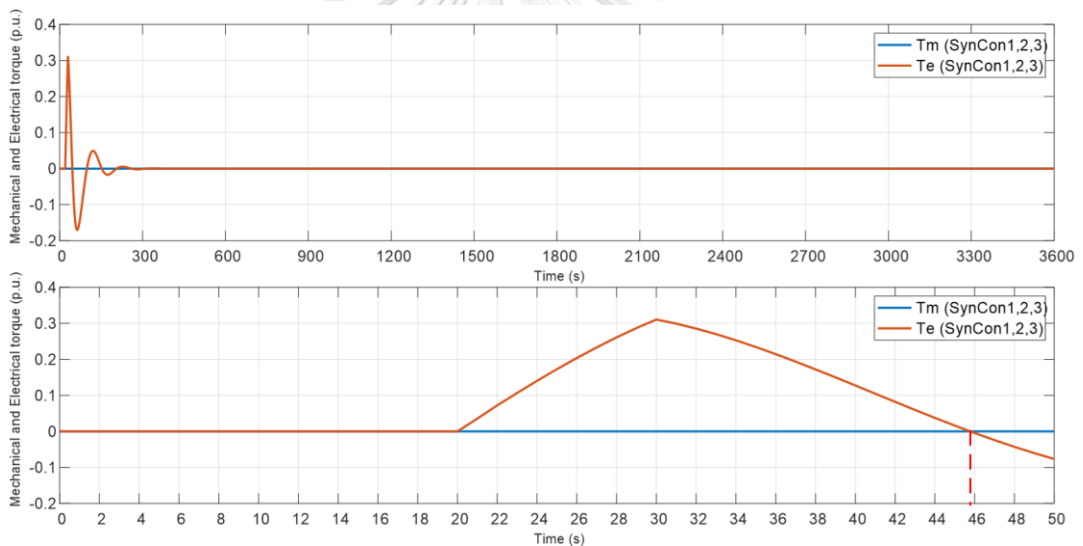
รูปที่ 6.78 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2.2)



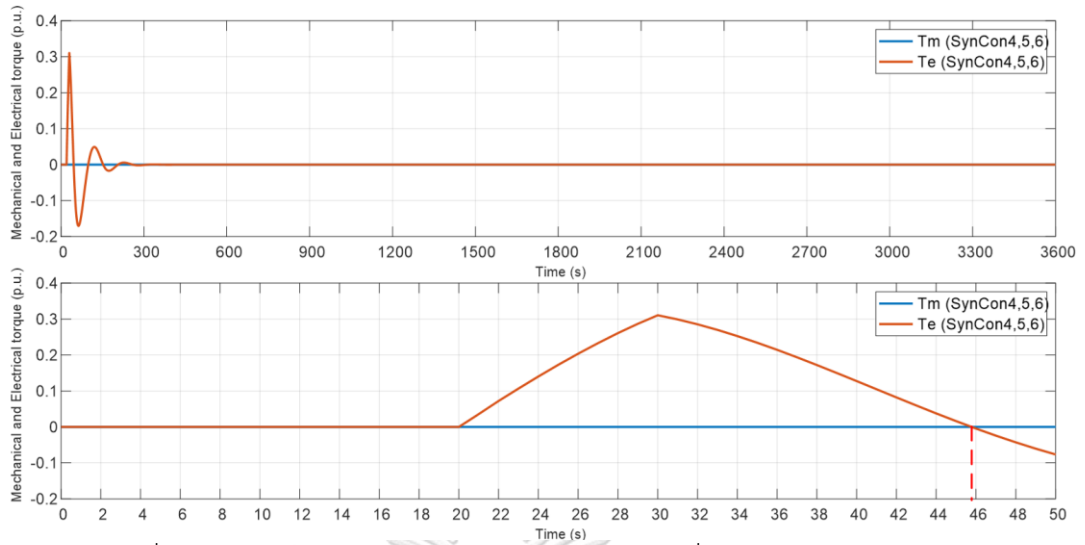
รูปที่ 6.79 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2.2)



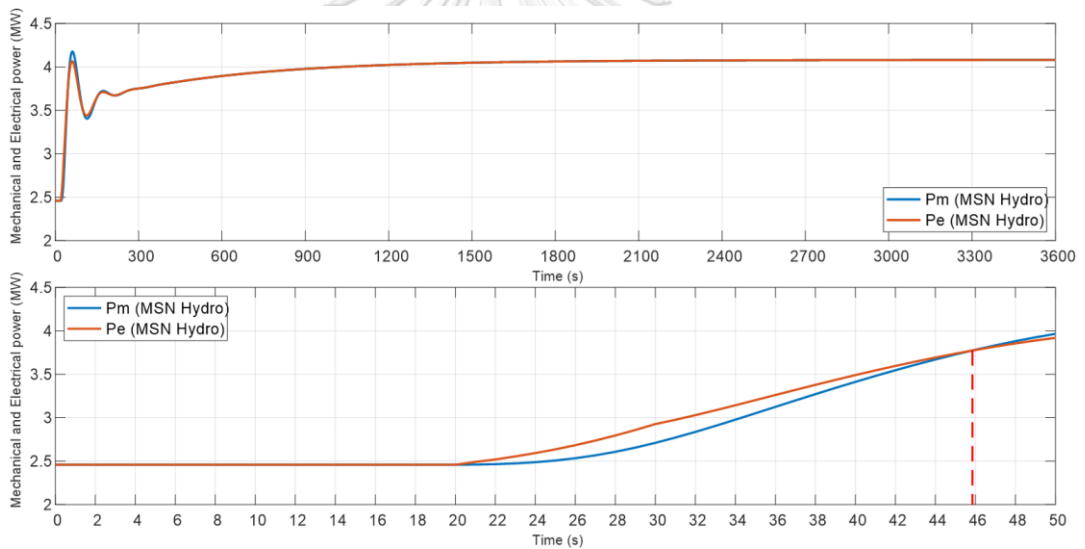
รูปที่ 6.80 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.2)



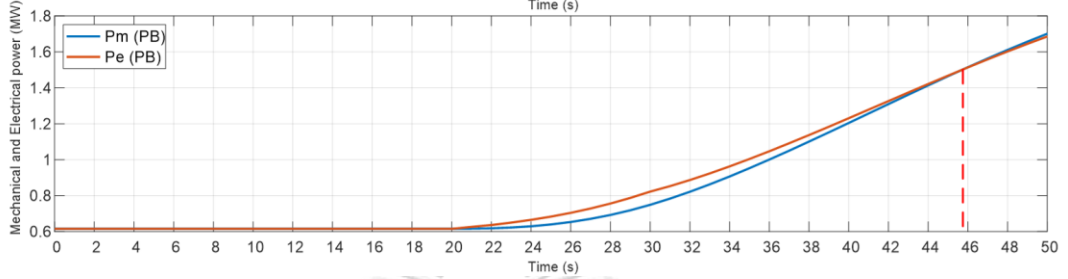
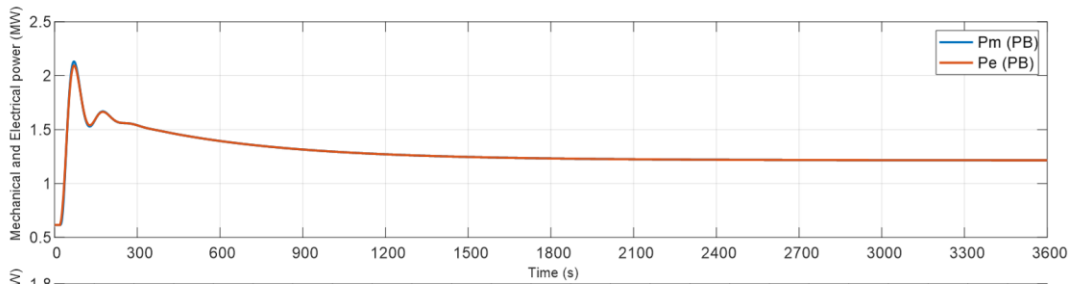
รูปที่ 6.81 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีที่ 2.2)



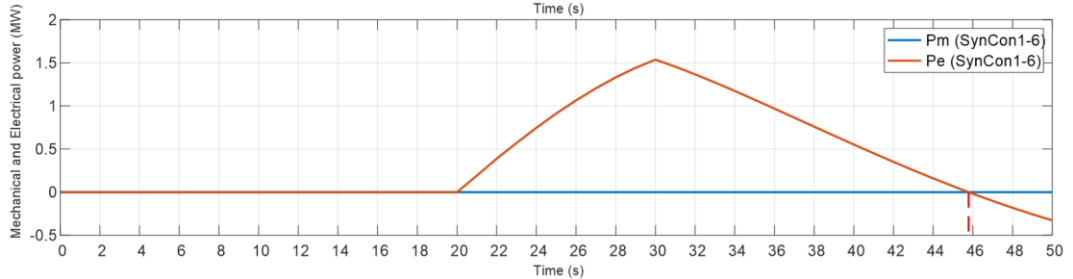
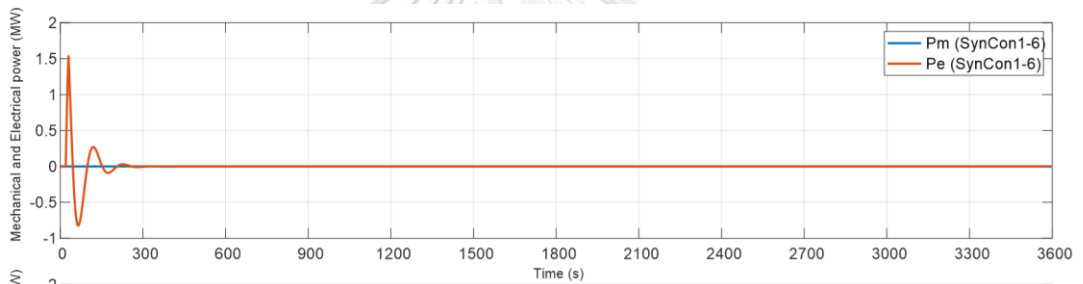
รูปที่ 6.82 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 2.2)



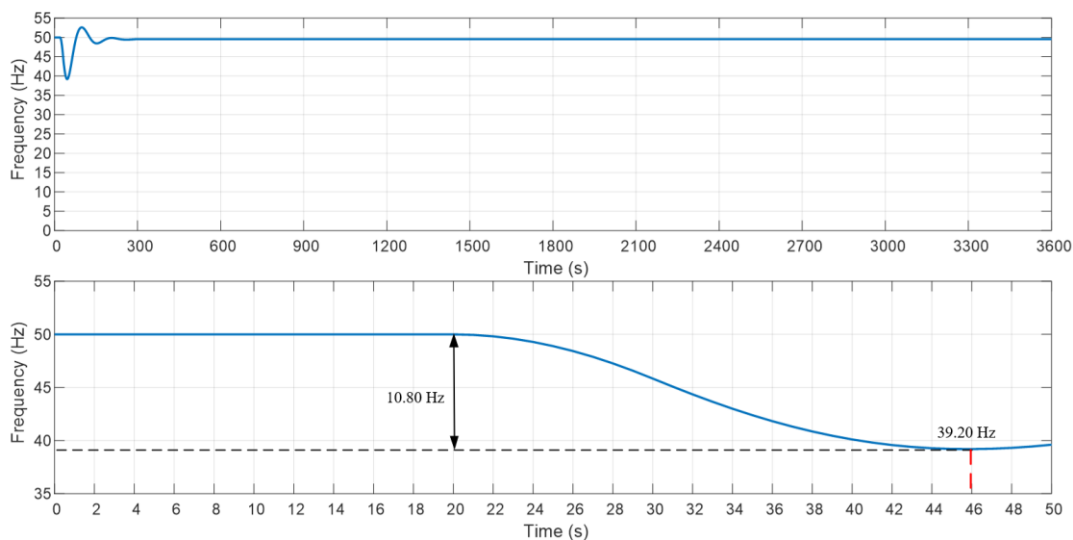
รูปที่ 6.83 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2.2)



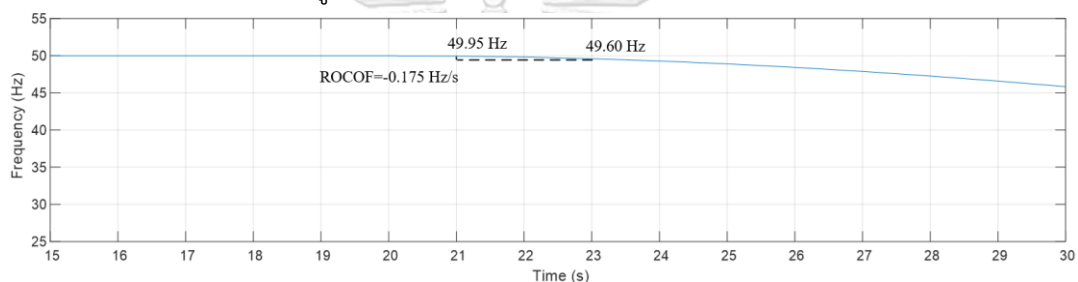
รูปที่ 6.84 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.2)



รูปที่ 6.85 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีที่ 2.2)



รูปที่ 6.86 ความถี่ของระบบ (กรณี 2.2)



รูปที่ 6.87 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความถี่ (กรณี 2.2)

การจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก แม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส ส่งผลให้ความถี่ของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความเบี่ยงเบนของความถี่ดีขึ้นแต่ยังคงไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เช่นเดียวกับความผันผวนของโหลด และหากสังเกตเพิ่มเติมจะพบว่าความถี่ของระบบเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ระยะเวลาที่ความถี่มีค่าต่ำสุดจะยาวออกไป ทั้งนี้มาจากการที่รูปชั่วขณะของระบบควบคุมกักกันไม่ได้ทำงานเต็มที่หรือตามที่เรากำหนดไว้ รวมถึงในช่วงความถี่ต่ำสุดนี้ โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะไม่จ่ายแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางไฟฟ้าออกมา ดังนั้นลำดับถัดไป จึงจะนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาแก้ไขปัญหาค่าความถี่ของระบบที่ยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดอยู่

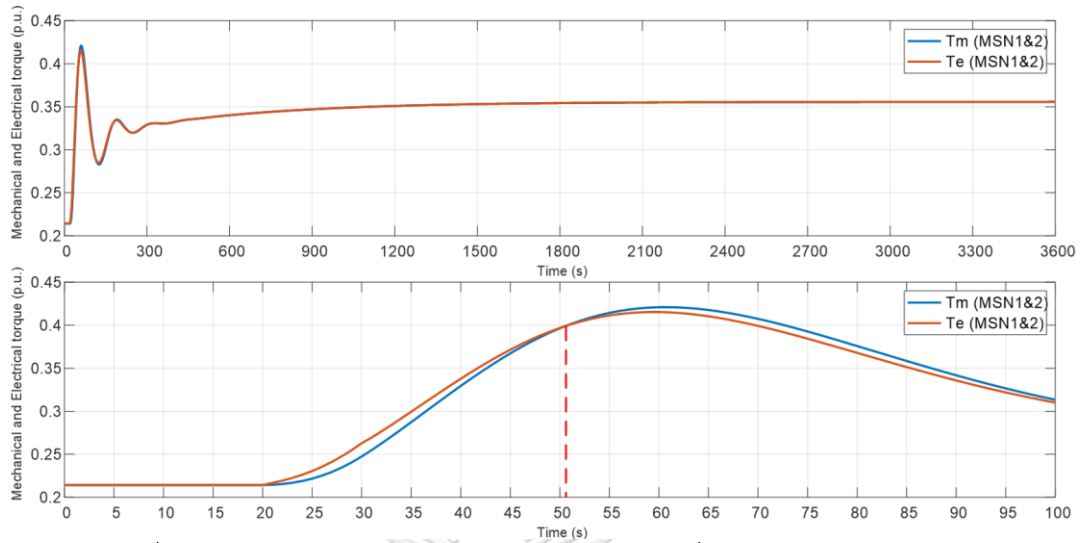


### 6.2.3 การแก้ไขความถี่ต่ำของระบบด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 2.3)

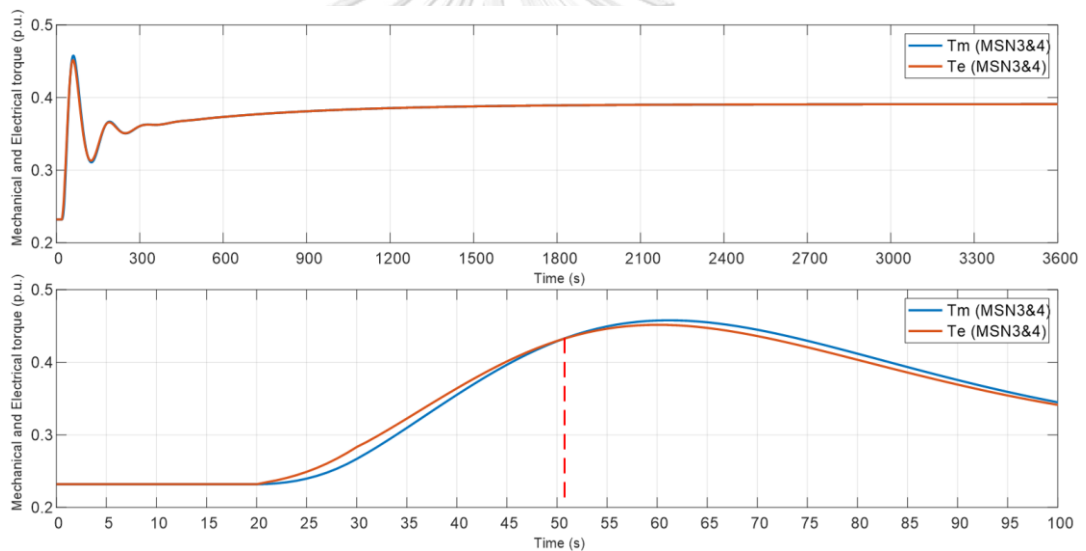
#### 6.2.3.1 การเพิ่มความเฉื่อยของระบบจากความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 2.3.1)

ผลจากการจำลองระบบเมื่อให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือน 5.95 วินาที พบว่าลักษณะของแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ยังคงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ เช่นเดิมเหมือนในทุกกรณีที่ผ่านมา ดังรูปที่ 6.88 - รูปที่ 6.90 ทั้งนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสก็ยังคงจ่ายพลังงานจลน์สะสมในรูปของแรงบิดทางไฟฟ้าออกมาเพื่อช่วยลดความผันผวนที่เกิดขึ้นอยู่ ดังรูปที่ 6.91 - รูปที่ 6.92

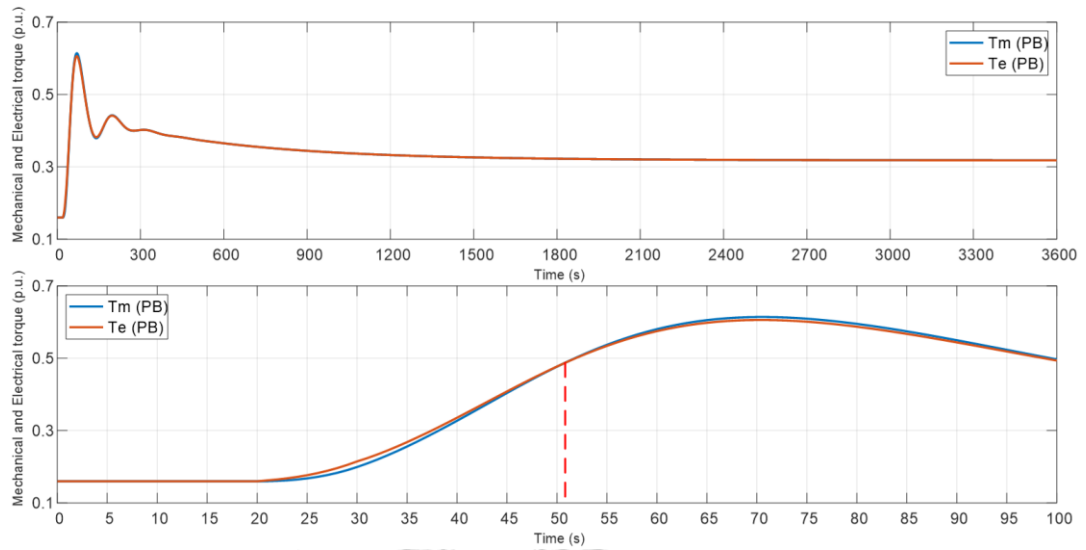
ในลักษณะเดียวกันกับกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.93 - รูปที่ 6.94 ตามลำดับ แต่ในช่วงแรกนั้นยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันเท่าที่ควร ถึงแม้ว่าความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีลักษณะแบบลาดเอียง นอกจากนี้ยังมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสที่ช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.95 ส่งผลทำให้ขนาดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ต้องรับภาระในการจ่ายกำลังไฟฟ้าในค่าต่อหน่วยลดลง รวมถึงการที่มีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้าเพิ่มเติมอีกด้วย ดังรูปที่ 6.96 จากพฤติกรรมต่าง ๆ และผลต่างระหว่างแรงบิดทางกลกับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลกับกำลังทางไฟฟ้าส่งผลทำให้ความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยลดลงประมาณ 0.33 เฮิรตซ์ อยู่ที่ 49.67 เฮิรตซ์ ตรงกับที่คาดการณ์ไว้ว่าระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือน 5.95 เฮิรตซ์ จะช่วยรักษาความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยได้ แต่ความเบี่ยงเบนของความถี่นั้นอยู่นอกช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย โดยอยู่ประมาณวินาทีที่ 51 เป็นช่วงที่แรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้า รวมถึงในช่วงที่ความถี่ต่ำสุดนั้นอนุพันธ์ความถี่เท่ากับ 0 โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสและระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนจะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้ามาช่วยรักษาความถี่ของระบบ ทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่มีค่าเท่ากับ 9.26 เฮิรตซ์ หรือความถี่ของระบบต่ำสุดอยู่ที่ 40.74 เฮิรตซ์ เกินเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 6.97



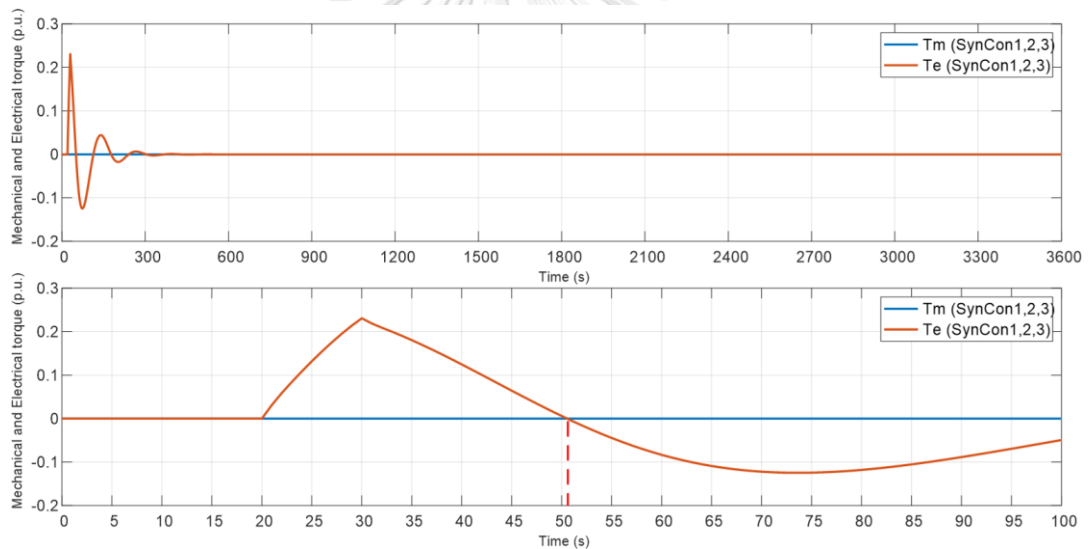
รูปที่ 6.88 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2.3.1)



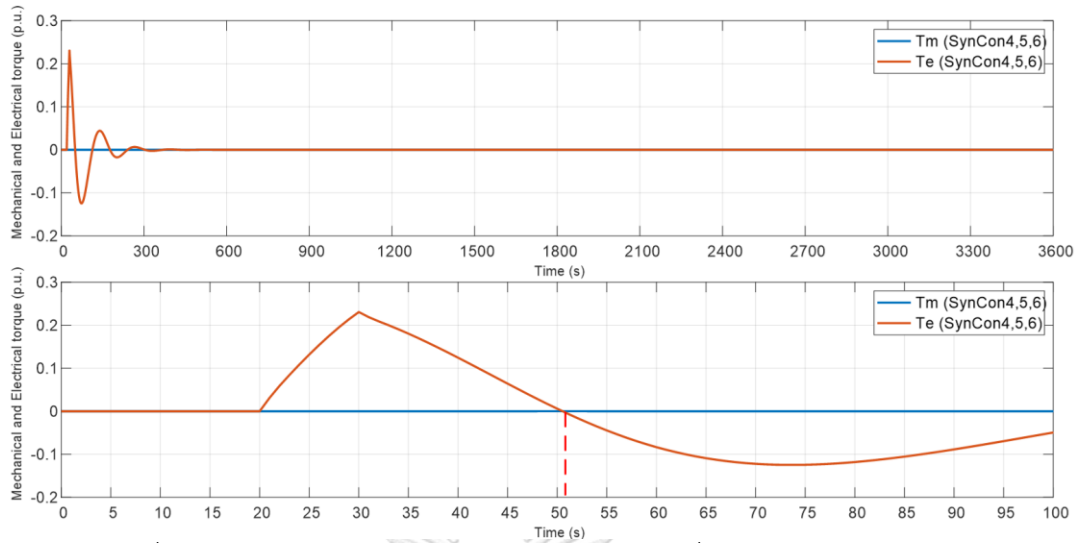
รูปที่ 6.89 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2.3.1)



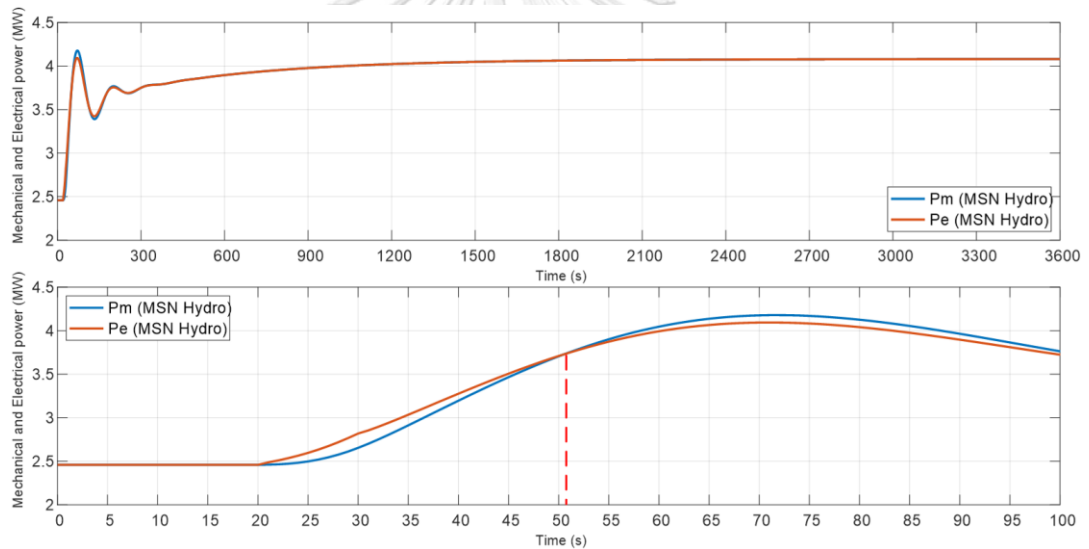
รูปที่ 6.90 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.3.1)



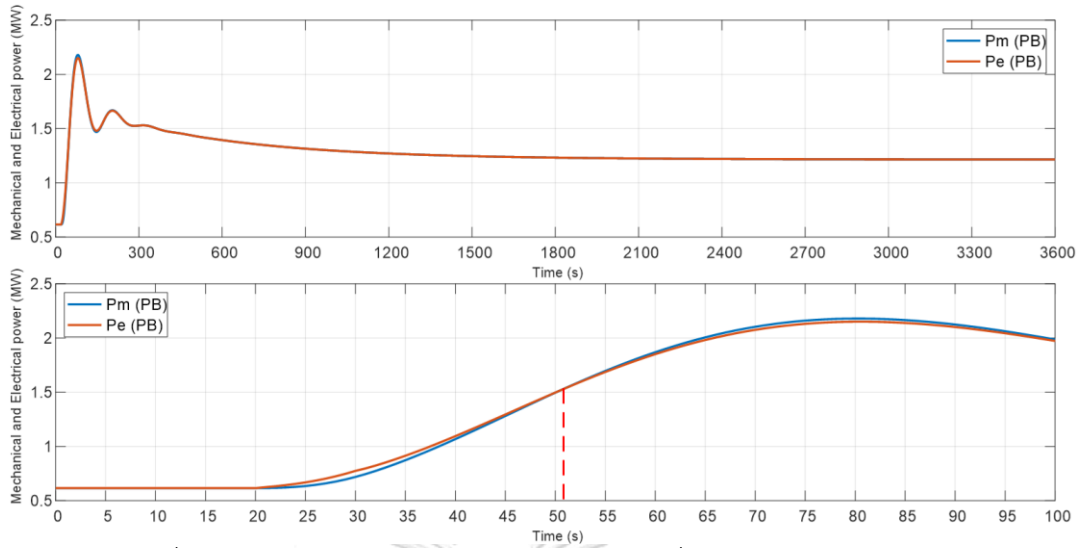
รูปที่ 6.91 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าติเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีที่ 2.3.1)



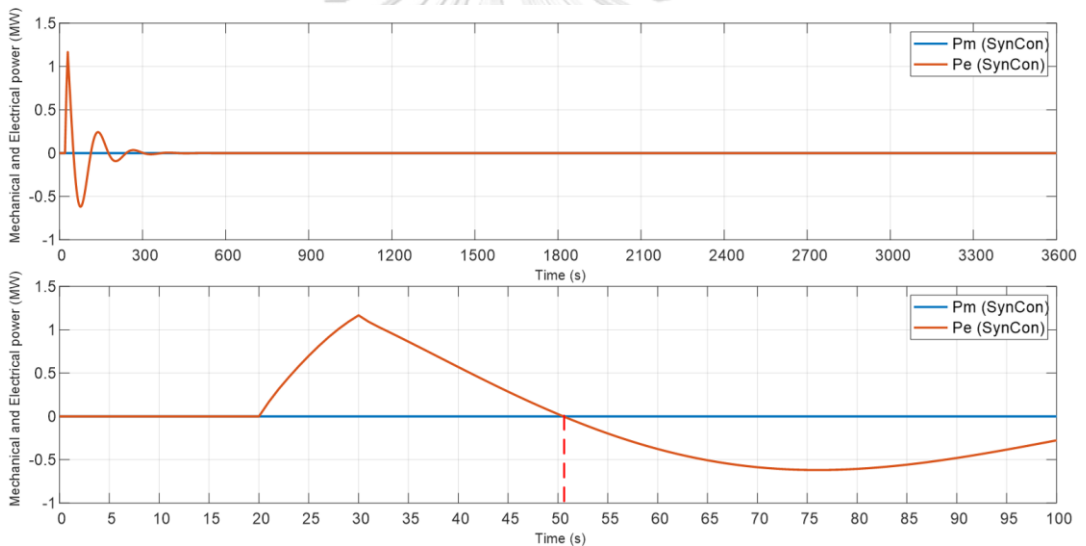
รูปที่ 6.92 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 2.3.1)



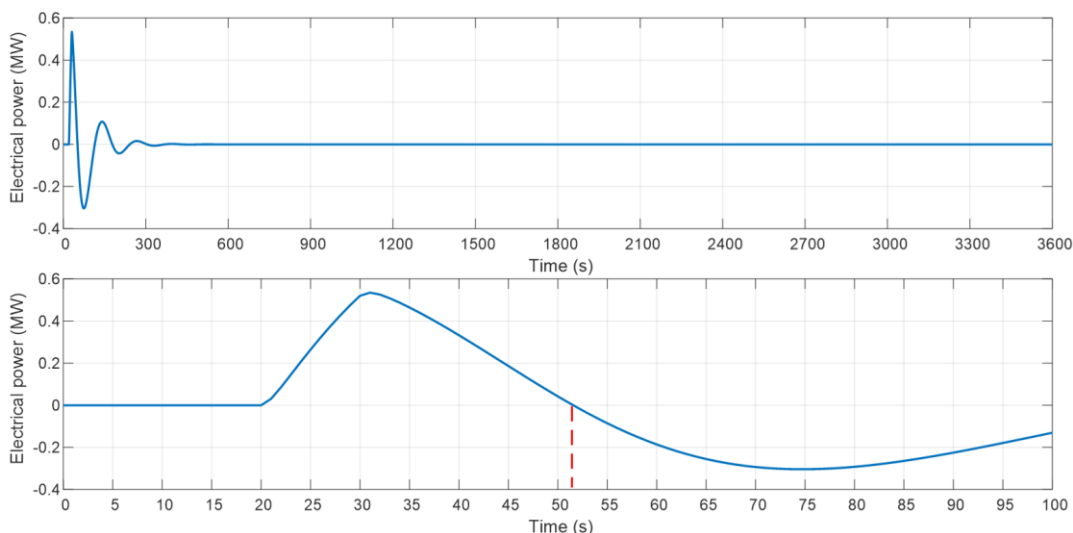
รูปที่ 6.93 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2.3.1)



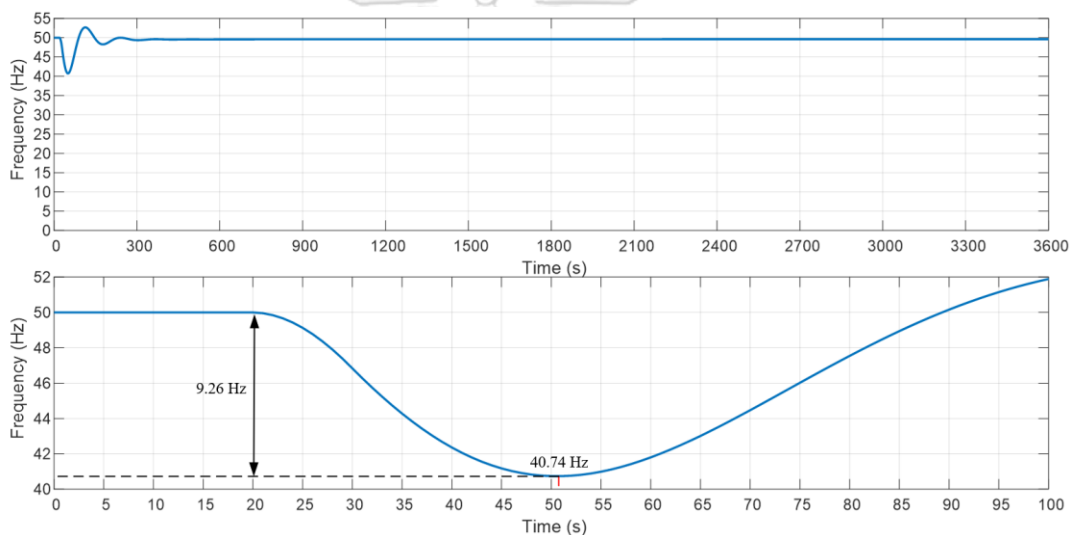
รูปที่ 6.94 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.3.1)



รูปที่ 6.95 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีที่ 2.3.1)



รูปที่ 6.96 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 2.3.1)



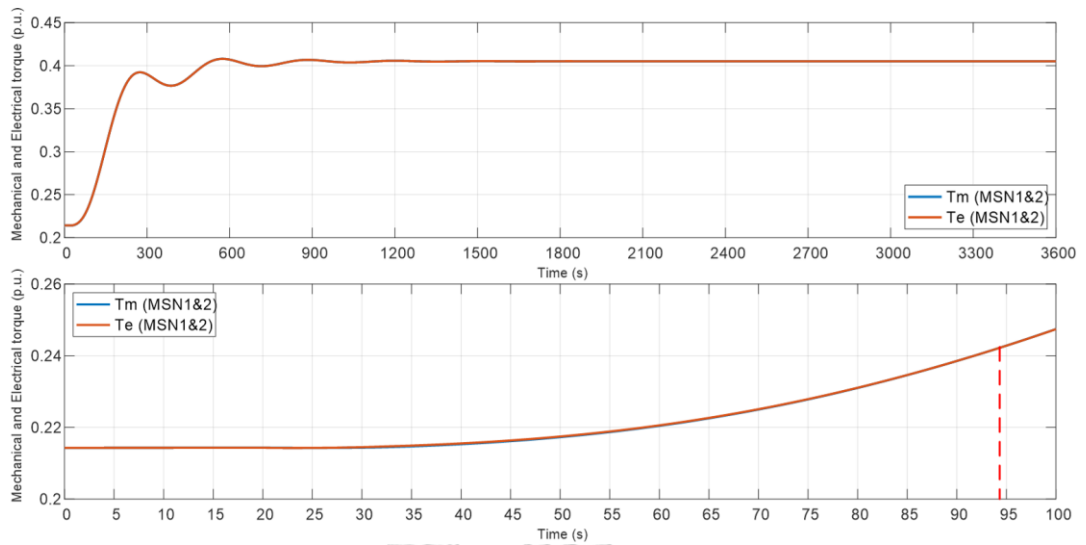
รูปที่ 6.97 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 2.3.1)

การที่ระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนสามารถช่วยรักษาความถี่ในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ไม่สามารถรักษาความถี่ของระบบทั้งหมดได้ เนื่องจากช่วงที่ความถี่ต่ำสุดนั้นระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ รวมถึงโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดสตาร์ทอัพจะไม่สามารถจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมา ดังนั้นจึงมีแนวทางในการเปลี่ยนระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จากความเฉื่อยเสมือนเป็นระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้าในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในลำดับถัดไป

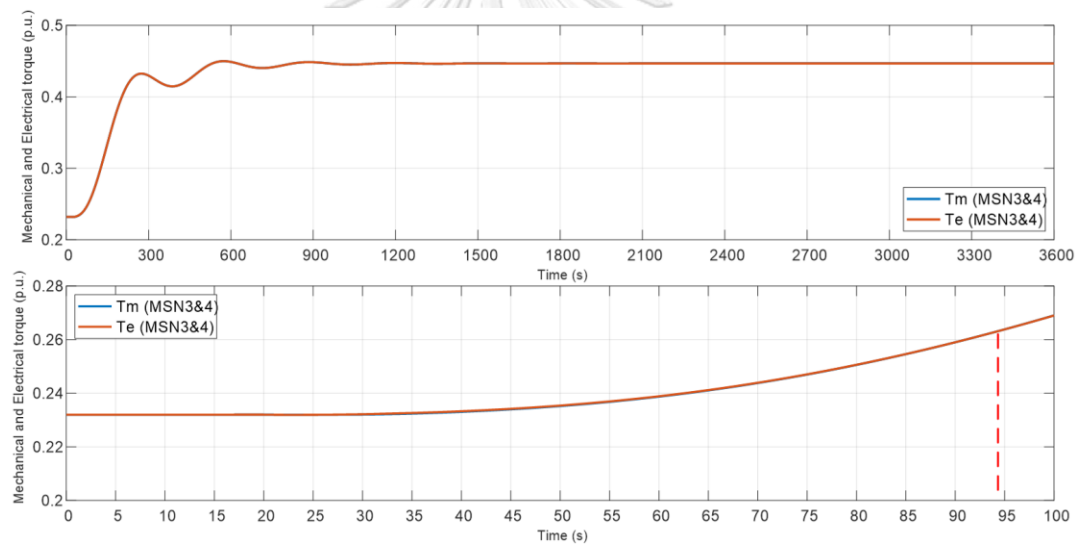
### 6.2.3.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีที่ 2.3.2)

เมื่อระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีการควบคุมความถี่ไฟฟ้าในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลทำให้พฤติกรรมแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับแรงบิดทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีค่าเท่ากันในวินาทีที่ 94 ดังรูปที่ 6.98 - รูปที่ 6.99 ในทำนองเดียวกัน แรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันกับแรงบิดทางไฟฟ้าในวินาทีที่ 94 ดังรูปที่ 6.100 ซึ่งในการที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีลักษณะการควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสายป้อนเดียวกับโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส อาจส่งผลทำให้พฤติกรรมการจ่ายพลังงานจลน์สะสมแก่ระบบไฟฟ้าลดลงจากการที่การเปลี่ยนแปลงความถี่ลดลง แต่ยังคงสามารถจ่ายแรงบิดทางไฟฟ้าเพื่อช่วยลดความผันผวนที่เกิดขึ้นได้อยู่ ดังรูปที่ 6.101 - รูปที่ 6.102

ในเชิงของกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็เช่นเดียวกันที่มีลักษณะจ่ายกำลังทางกลได้ใกล้เคียงกับกำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.103 - รูปที่ 6.104 รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสด้วยที่จ่ายกำลังไฟฟ้าช่วยระบบอยู่ประมาณ 0.02 เมกะวัตต์ ในช่วงแรกที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ยังไม่สามารถจ่ายกำลังออกมาได้เท่ากับความผันผวนที่เกิดขึ้นในระบบ ดังรูปที่ 6.105 - รูปที่ 6.106 โดยวิธีนี้ทำให้ในช่วงที่ความถี่ต่ำสุดระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สามารถจ่ายกำลังทางไฟฟ้าเพื่อลดความผันผวนที่เกิดขึ้นได้ ส่งผลให้พฤติกรรมของद्रูประบบควบคุมกักเก็บสามารถขับแรงบิดทางกลให้เท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าได้ ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่มีค่าเท่ากับ 0.30 เฮิรตซ์ หรือมีความถี่ของระบบต่ำสุดที่ 49.70 เฮิรตซ์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว

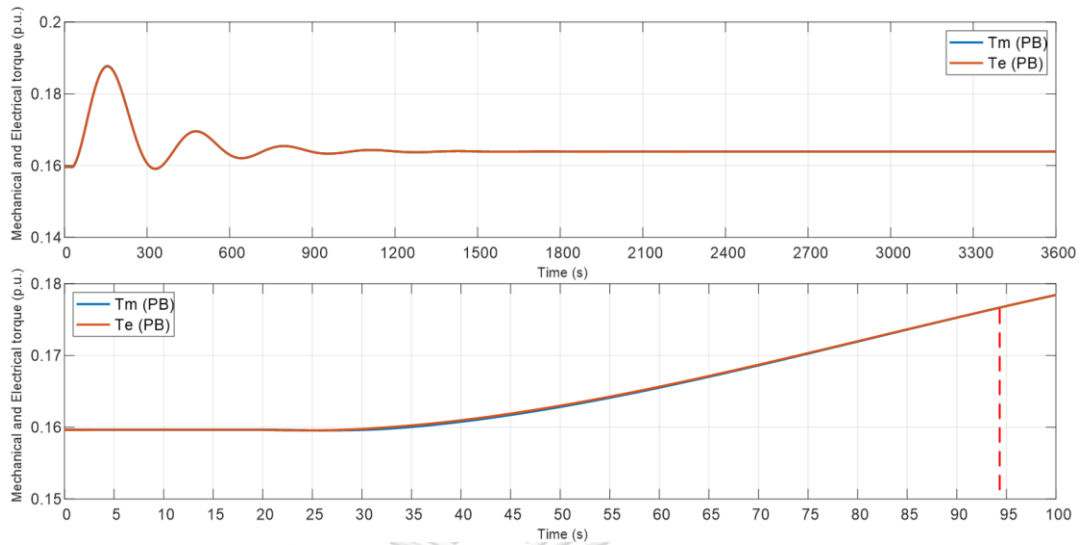


รูปที่ 6.98 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 2.3.2)

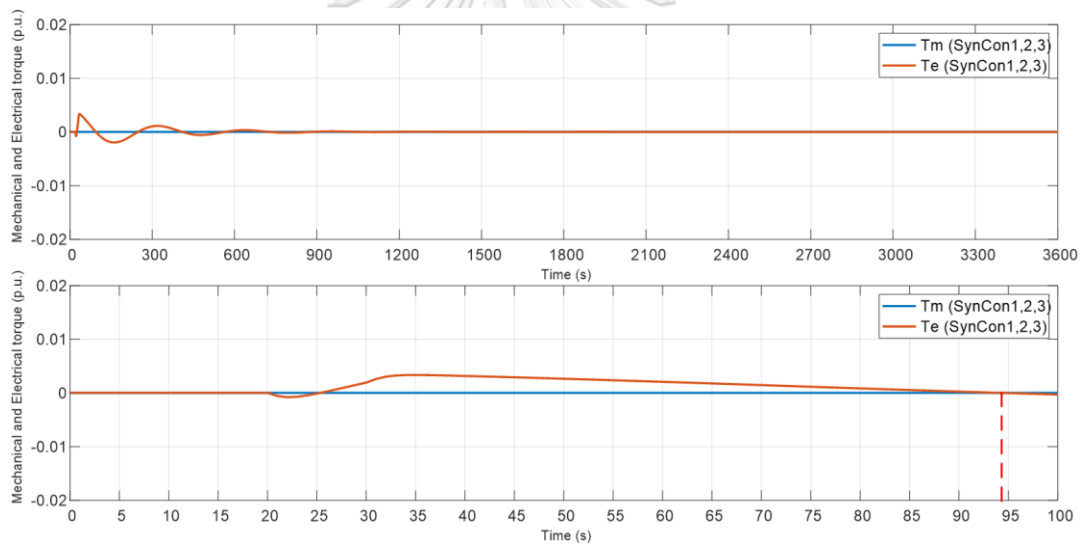


รูปที่ 6.99 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 2.3.2)

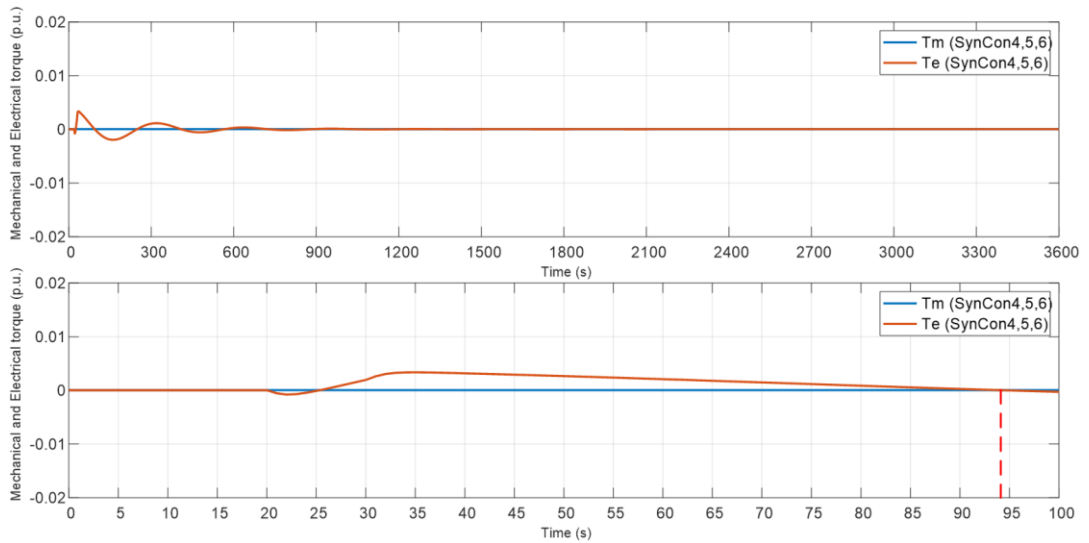




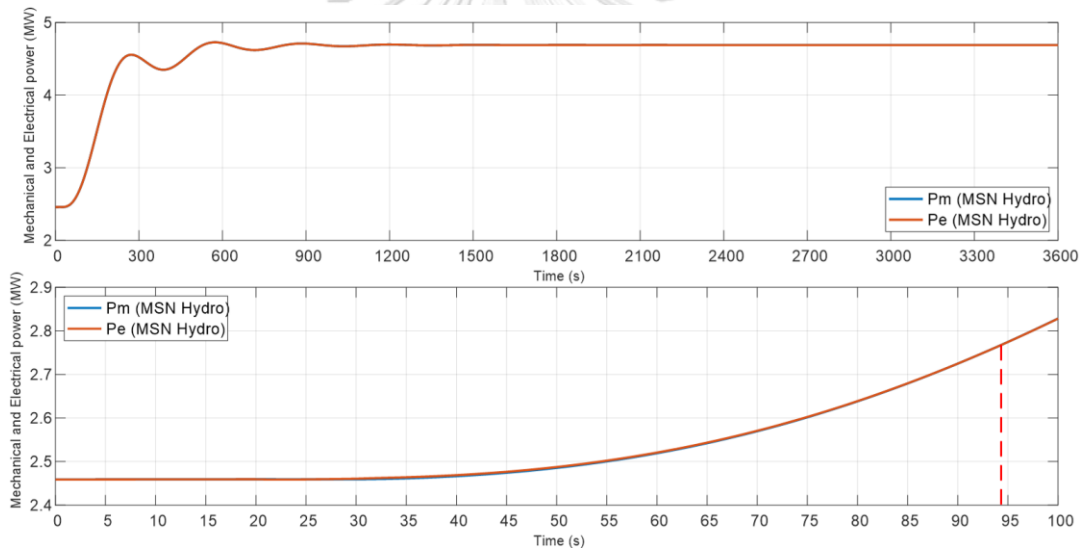
รูปที่ 6.100 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 2.3.2)



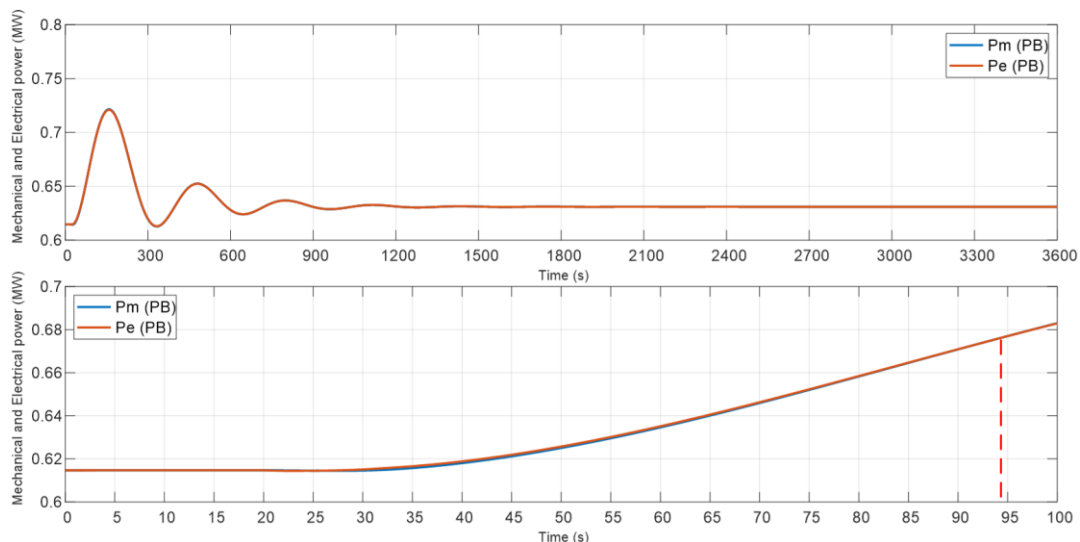
รูปที่ 6.101 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีที่ 2.3.2)



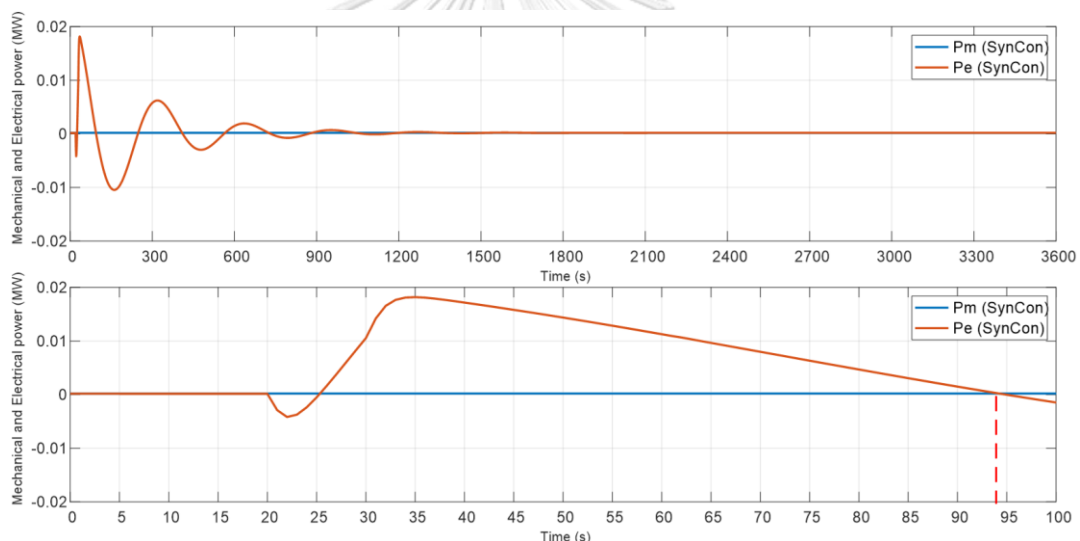
รูปที่ 6.102 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 2.3.2)



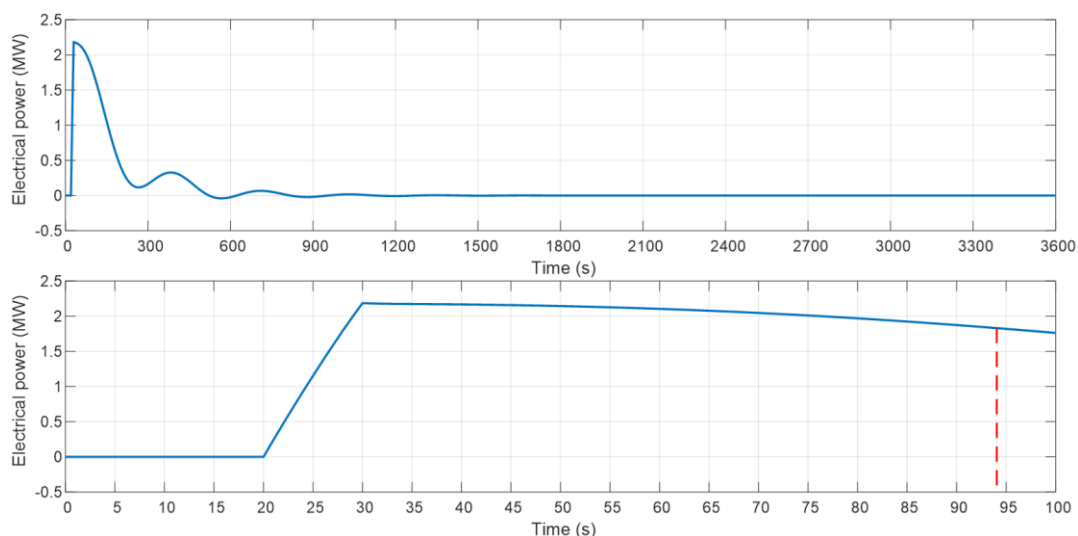
รูปที่ 6.103 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 2.3.2)



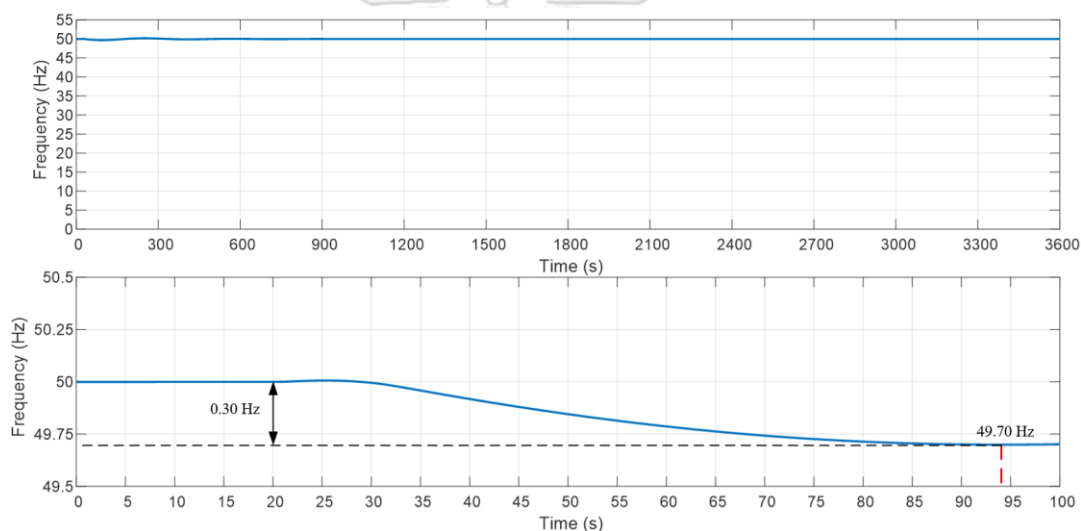
รูปที่ 6.104 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี 2.3.2)



รูปที่ 6.105 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าตาดิเชลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณี 2.3.2)



รูปที่ 6.106 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 2.3.2)



รูปที่ 6.107 ความถี่ของระบบ (กรณีที่ 2.3.2)

จากผลการจำลองระบบเมื่อในระบบมีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา จำนวน 4 โรง เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 154.42 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส 52.28 และ 1094.25 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ตามลำดับ ทำให้ในระบบมีโมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเท่ากับ 1300.89 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ซึ่งคาดหวังว่าการเพิ่มขึ้นนี้จะช่วยให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเฉื่อยช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เช่นเดียวกันกับในกรณีความผันผวนของโหลด แต่ความถี่ต่ำสุดของระบบอยู่นอกช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย ครอบคลุมของระบบควบคุมกักเก็บ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน

(ผาบ่อง) ไม่สามารถรักษาให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ตามที่คาดหวังไว้ ดังนั้น จึงมีแนวทางในการนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาช่วยในการลดความเบี่ยงเบนของความถี่ให้ความถี่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยการให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือนอาจจะไม่ต้อจโยทโยในการลดความถี่ต่ำสุดของระบบ เนื่องจากความถี่ต่ำสุดของระบบอยู่นอกช่วงการตอบสนองของความถี่รวมถึงช่วงความถี่ต่ำสุด อนุพันธ์ความถี่เท่ากับ 0 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ รวมถึงโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสจะไม่มีการจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมา ดังนั้นหน้าที่การรักษาคความถี่ของระบบจะอยู่ที่การทำงานครูปของระบบควบคุมกักกันที่จจะต้อจขั้บแรงบิตทางกลให้เท่ากับแรงบิตทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้า ในทางตรงกันข้าม การให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังทางไฟฟ้าในช่วงที่มีความถี่ต่ำสุดได้ ซึ่งช่วยให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนดได้

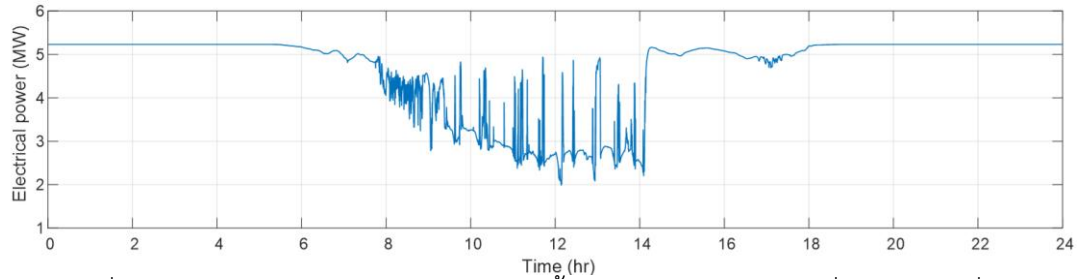
#### 6.2.4 ผลการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากวิธีต่าง ๆ ของกรณีที่ 2 – 2.3.2 สามารถจำลองระบบในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 24 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มความถี่เพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัส สามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบได้ รวมถึงในการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนหรือระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ได้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน สามารถแสดงพฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ในพื้นที่ได้ใน 24 ชั่วโมง ดังนี้

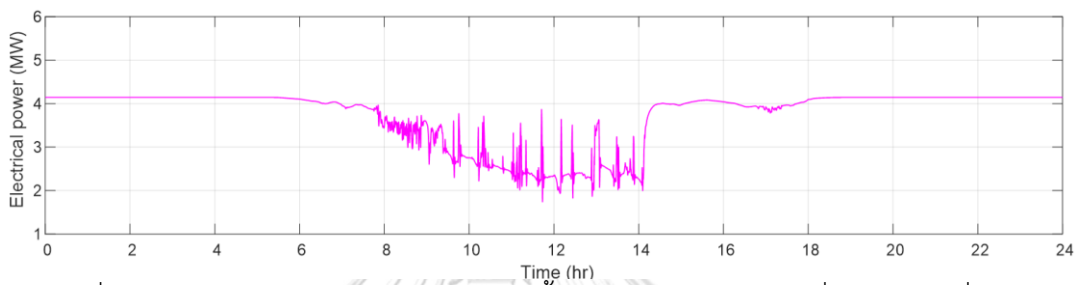
##### 6.2.4.1 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

พฤติกรรมกรจ่ายกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง ในวันที่กำลังผลิตมีความผันผวนสูงพบว่าในระบบที่มีความถี่ต่ำ รูปที่ 6.108 กำลังผลิตจะมีความผันผวนสูงตามความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แต่หากในระบบมีความถี่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กำลังทางไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาต้องจ่ายออกมามีความผันผวนลดลง ดังรูปที่ 6.109 - รูปที่ 6.111 รวมถึงการที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีระบบควบคุมความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ก็ส่งผลให้ความ

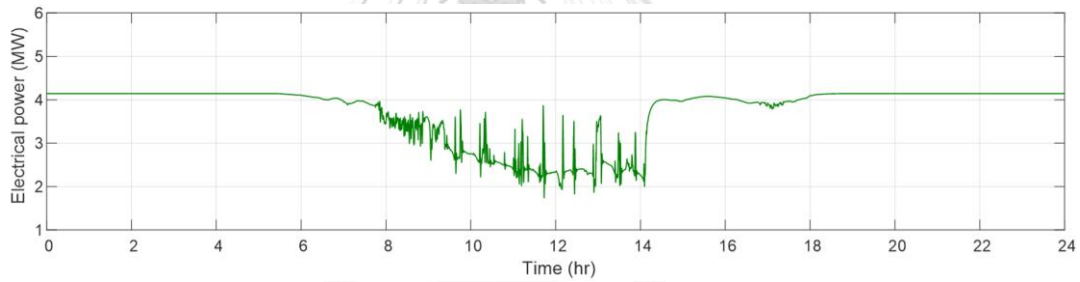
ผันผวนของกำลังทางไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาต้องจ่ายออกมาลดลงเช่นเดียวกัน  
ดังรูปที่ 6.112



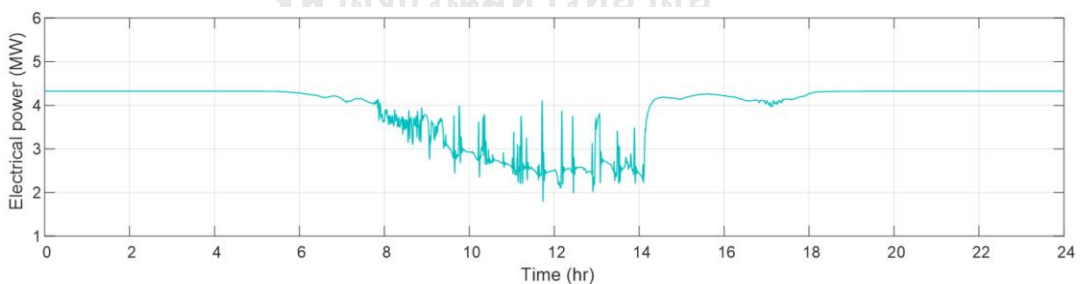
รูปที่ 6.108 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 2)



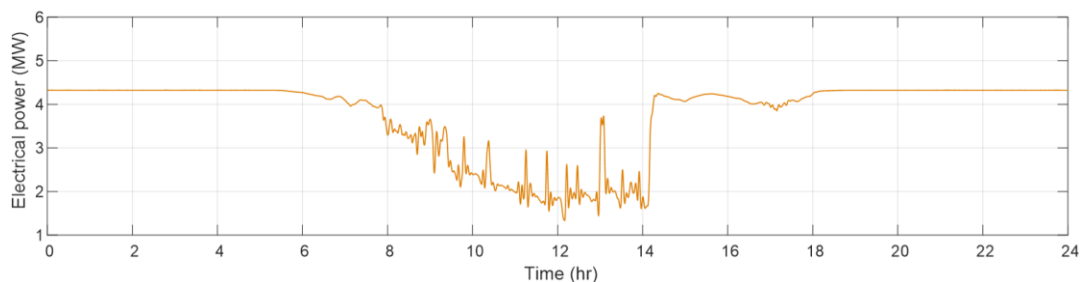
รูปที่ 6.109 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 2.1)



รูปที่ 6.110 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 2.2)



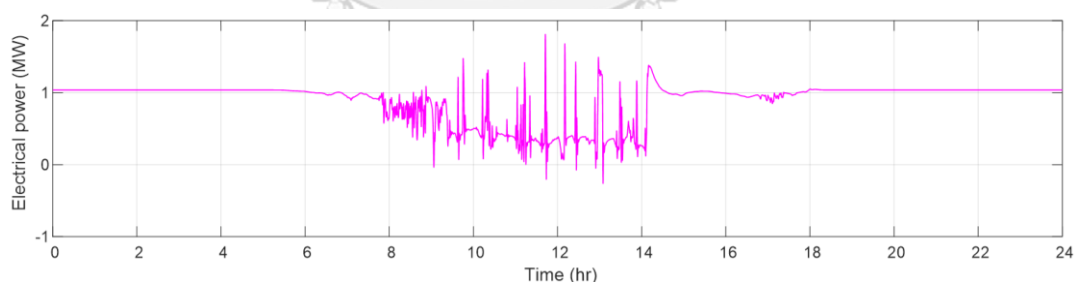
รูปที่ 6.111 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 2.3.1)



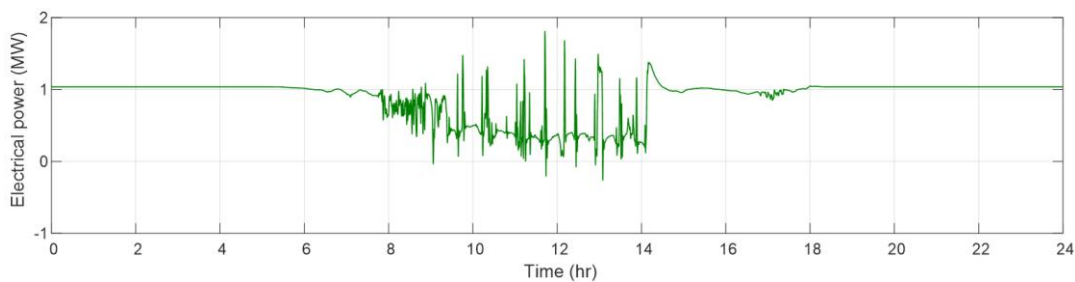
รูปที่ 6.112 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.3.2)

#### 6.2.4.2 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

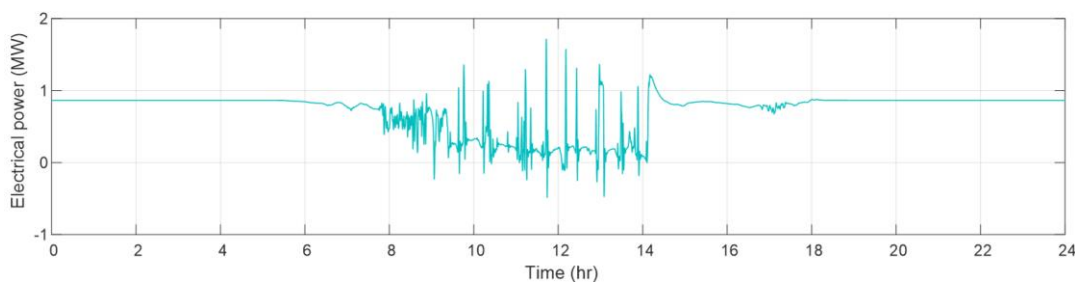
พฤติกรรมกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) จะมีความผันผวนมากกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ติดตั้งอยู่สายป้อนเดียวกันกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องมากกว่า ส่งผลทำให้ได้รับผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาก ดังรูปที่ 6.113 - รูปที่ 6.115 แต่เมื่อระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีการควบคุมความถี่ระบบ ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 6.116 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีลักษณะที่เรียบขึ้น หรือกล่าวได้ว่ามีความผันผวนลดลง



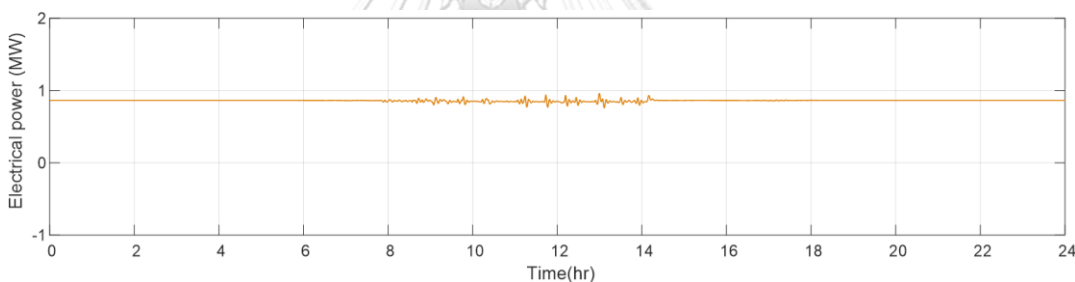
รูปที่ 6.113 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.1)



รูปที่ 6.114 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 2.2)



รูปที่ 6.115 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 2.3.1)



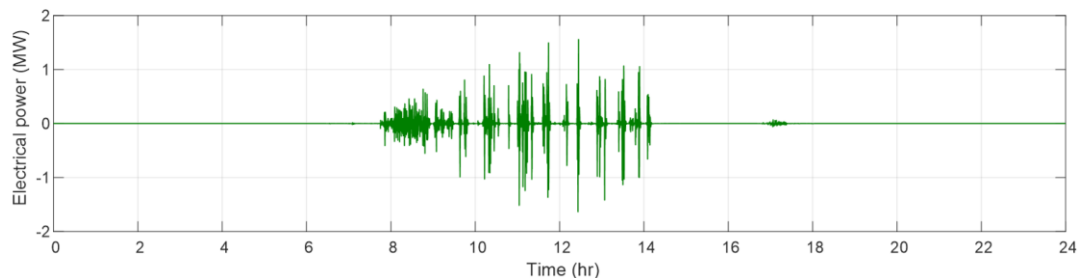
รูปที่ 6.116 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 2.3.2)

#### 6.2.4.3 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

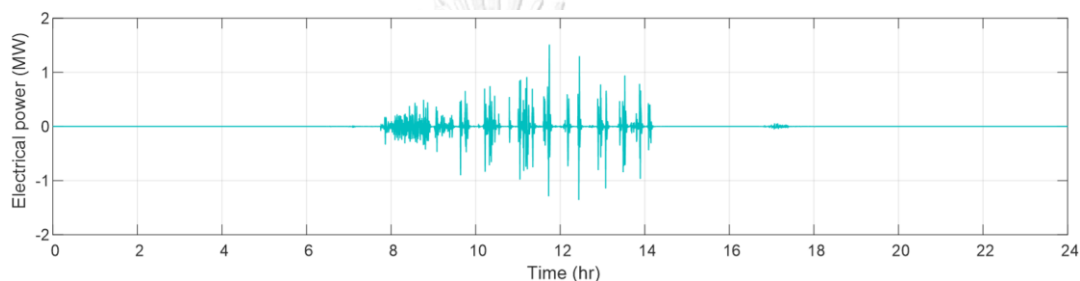
พฤติกรรมกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสสามารถจ่ายพลังงานจลน์สะสมออกมาในรูปแบบกำลังผลิตออกมาได้ ดังรูปที่ 6.117 - รูปที่ 6.119 โดยความเฉื่อยของระบบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสลดลง อย่างไรก็ตาม การที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีการควบคุมความถี่ของระบบในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาจส่งผลทำให้กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสลดลงเนื่องจากอยู่ในสายป้อนเดียวกันและการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบที่น้อยลง



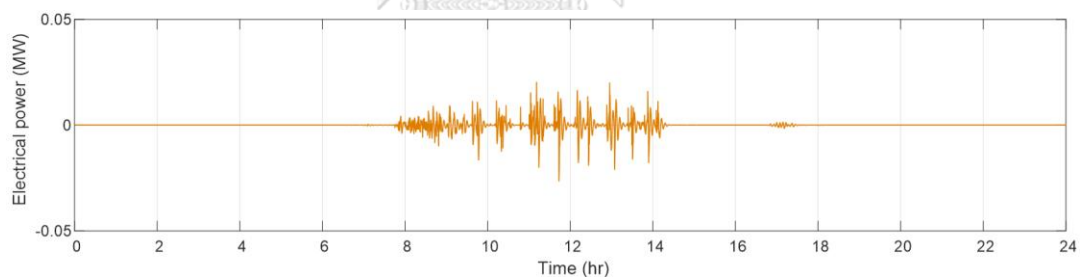
รวมถึงการรองรับความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มากกว่าโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส



รูปที่ 6.117 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.2)



รูปที่ 6.118 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.3.1)

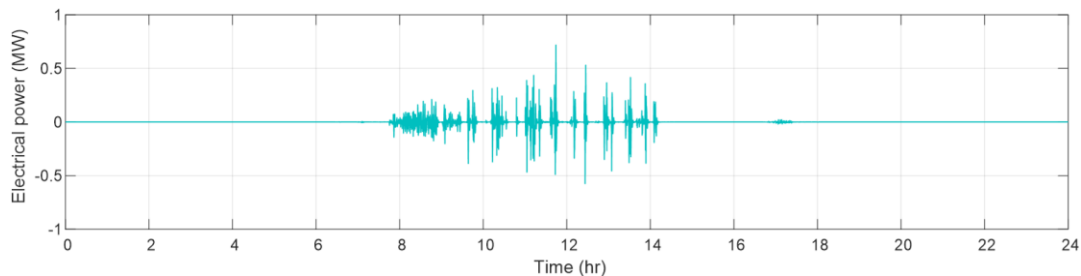


รูปที่ 6.119 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.3.2)

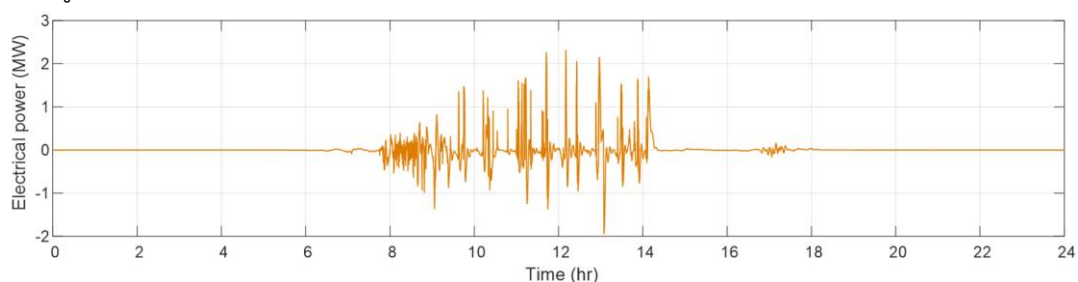
#### 6.2.4.4 พฤติกรรมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนหรือระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียกกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยรองรับความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ดังรูปที่ 6.120 - รูปที่ 6.121 ซึ่งส่งผลทำให้พฤติกรรมของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยการที่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียกกำลังผลิตของโรงไฟฟ้านั้น ระบบกักเก็บ

พลังงานด้วยแบตเตอรี่จะจ่ายกำลังผลิตมากกว่าการใช้ความเฉื่อยเสมือน เนื่องจากการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย



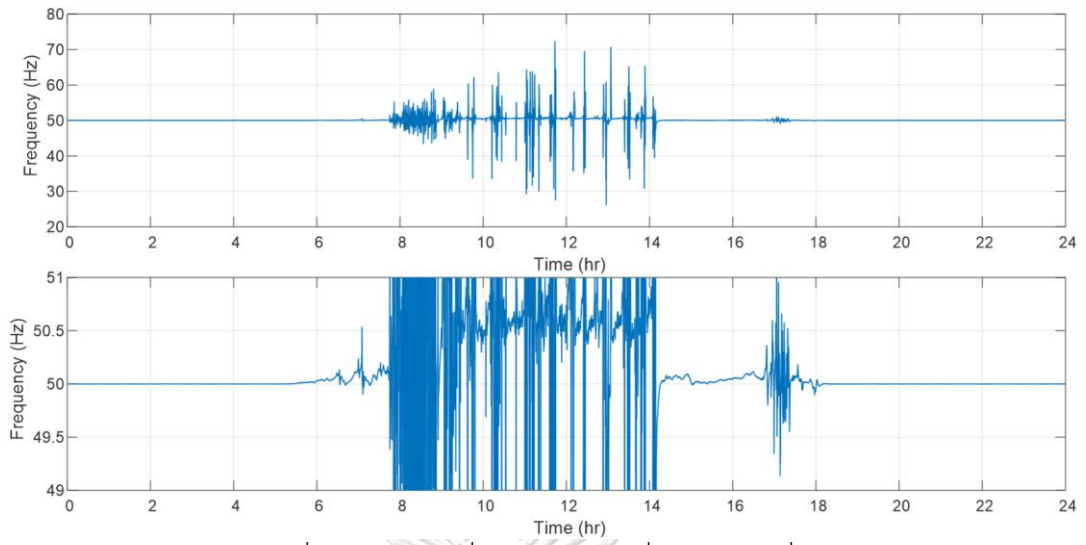
รูปที่ 6.120 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.3.1)



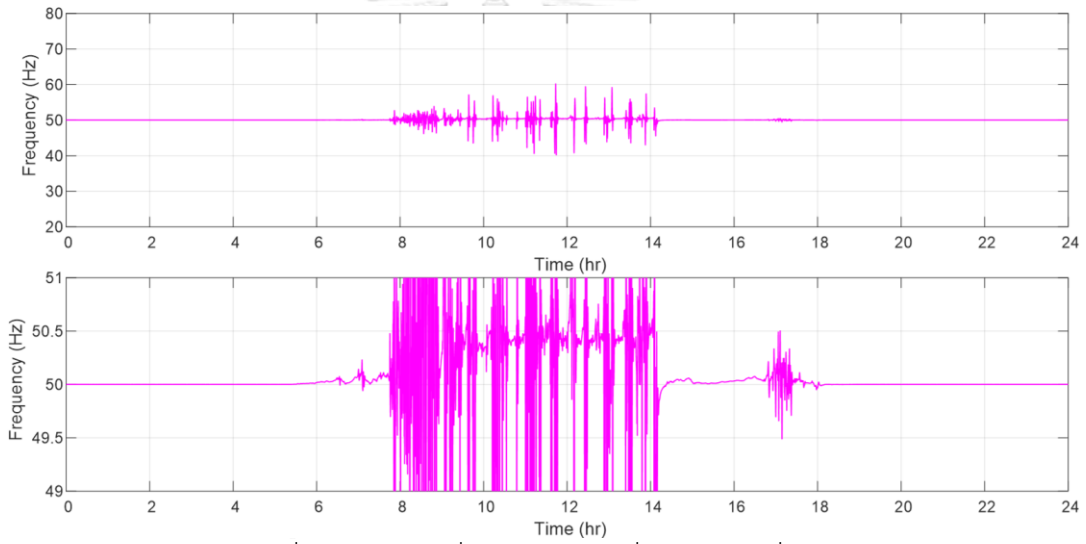
รูปที่ 6.121 กำลังผลิตของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.3.2)

#### 6.2.4.5 ความถี่ของระบบ ในวันที่มีความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

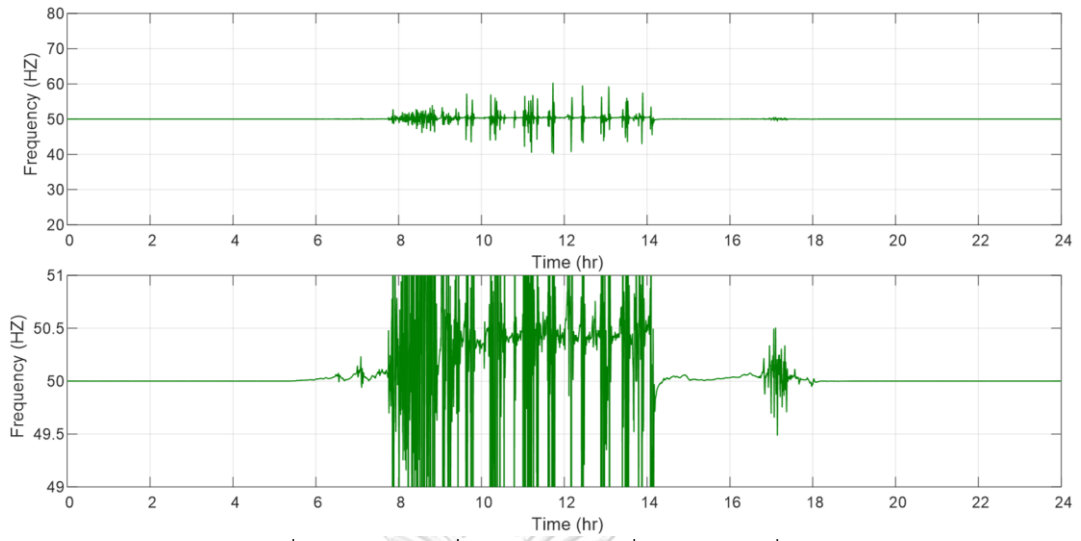
สำหรับความถี่ของระบบในวันที่เกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ราย 24 ชั่วโมง เมื่อในระบบความเฉื่อยต่ำจะเห็นได้ว่าความถี่ของระบบจะมีความผันผวนสูงมากกว่าระบบที่มีความเฉื่อยเพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งในการที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือนไม่สามารถลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ ดังรูปที่ 6.122 - รูปที่ 6.125 เนื่องจากในช่วงความถี่ต่ำสุด ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสจะไม่จ่ายกำลังผลิตออกมา แต่การควบคุมความถี่ของระบบในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถจ่ายกำลังผลิตออกมาในช่วงความถี่ต่ำสุดได้ จึงช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่และทำให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ดีกว่า ดังรูปที่ 6.126



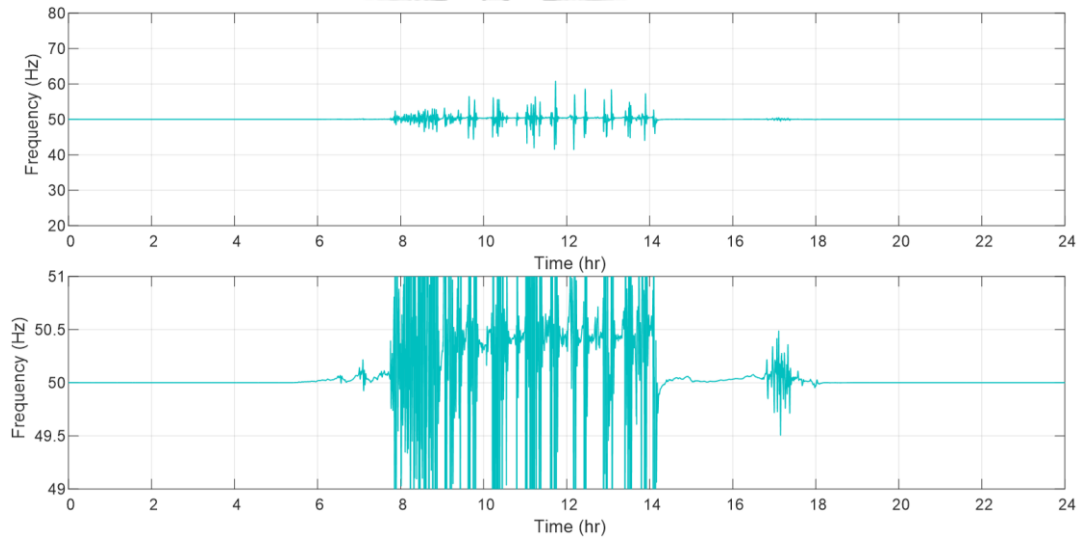
รูปที่ 6.122 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 2)



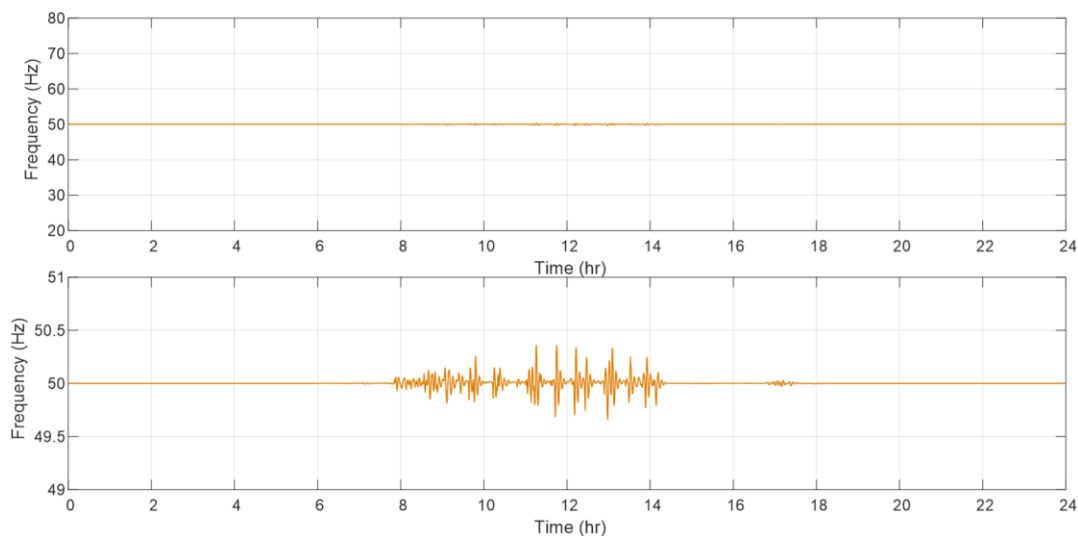
รูปที่ 6.123 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี ที่ 2.1)



รูปที่ 6.124 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.2)



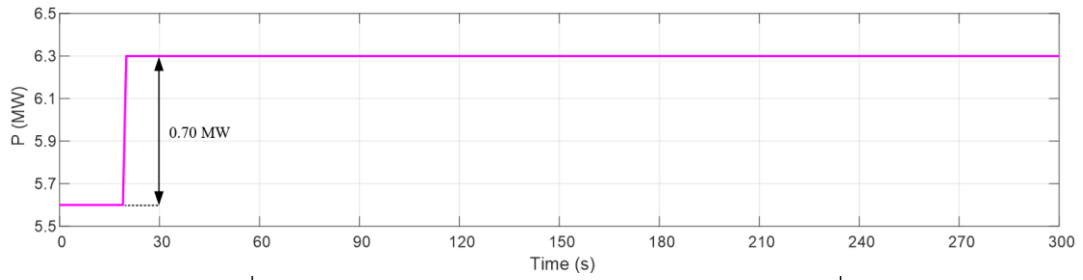
รูปที่ 6.125 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณี 2.3.1)



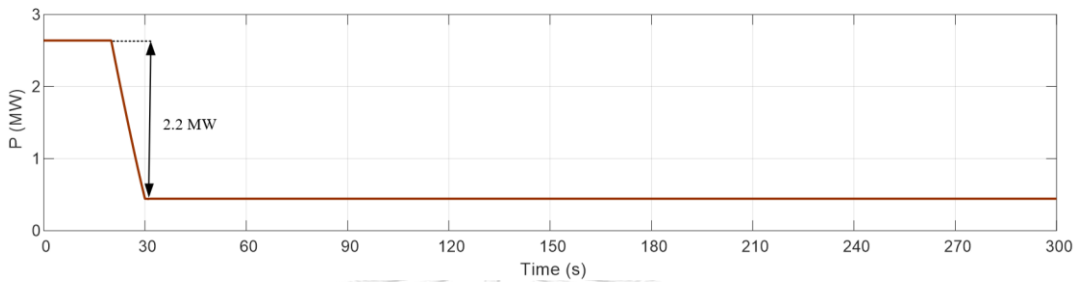
รูปที่ 6.126 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 2.3.2)

### 6.3 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีที่ 3)

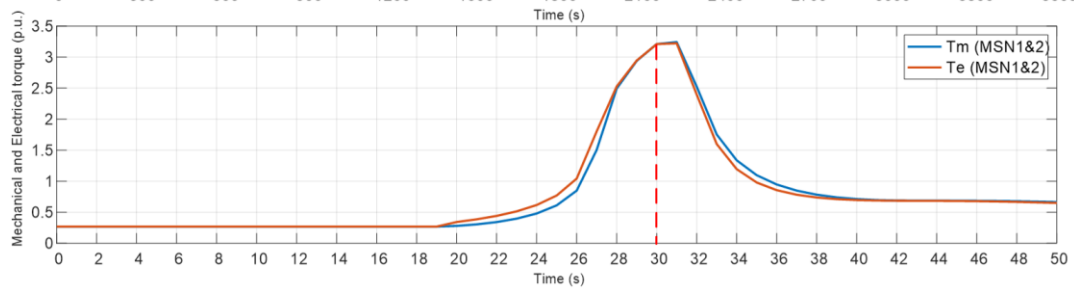
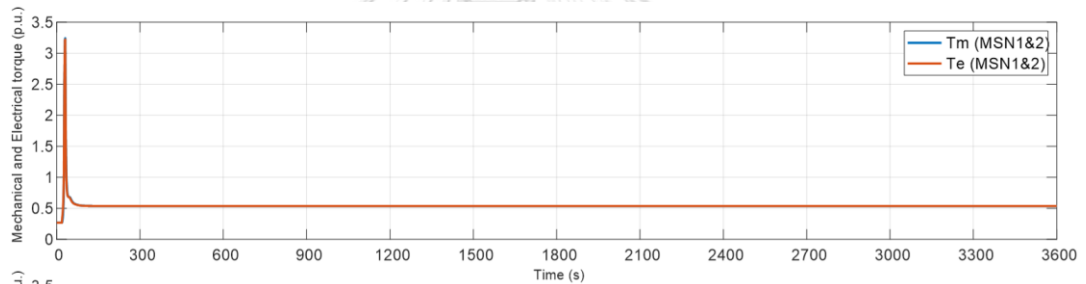
ในกรณีที่ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ และความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ดังรูปที่ 6.127 - รูปที่ 6.128 ตามลำดับ เสมือนในระบบมีโหลดเพิ่มขึ้น หากในระบบมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาที่มีความเฉื่อยต่ำส่งผลทำให้แรงบิดทางกลไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.129 - รูปที่ 6.130 หรือในเชิงกำลังทางกลไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสได้ทันเท่ากำลังทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่า ดังรูปที่ 6.131 ส่งผลให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่ 42.29 เฮิรตซ์ หรือมีความถี่ต่ำสุด 7.71 เฮิรตซ์ ดังรูปที่ 6.132 ในช่วงวินาทีที่ 30 ซึ่งเป็นช่วงที่แรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าตามลักษณะการทำงานของดรูปชั่วขณะในระบบควบคุมกักกัน โดยที่ความถี่ต่ำสุดดังกล่าวเกินขอบเขตที่กำหนดไว้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้หากพิจารณาในเชิงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบพบว่าช่วงการตอบสนองของความเฉื่อยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ  $-3.36$  เฮิรตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.133 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในบทที่ 5 ที่  $-3.73$  เฮิรตซ์ต่อวินาที



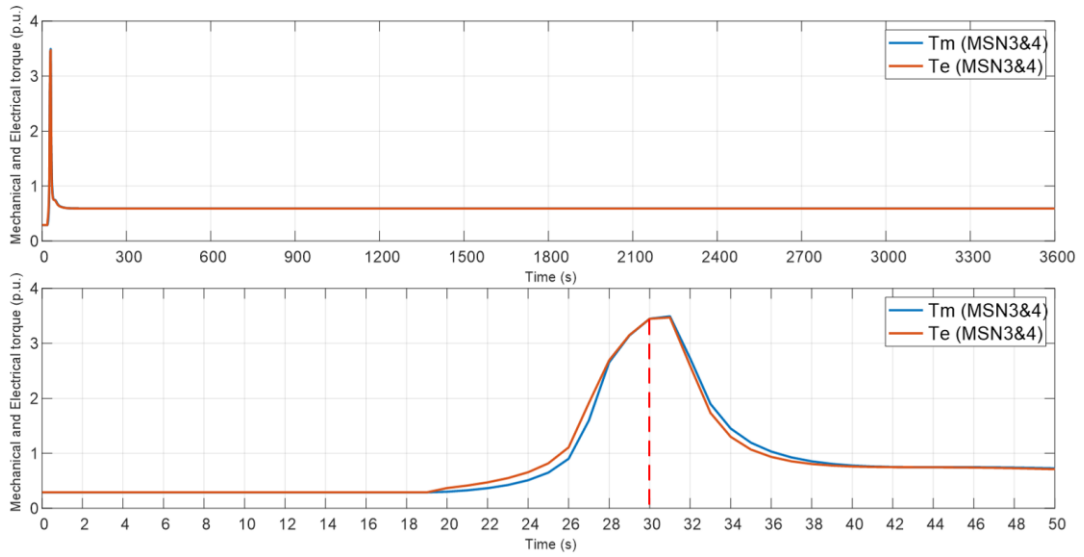
รูปที่ 6.127 ความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ (กรณีที่ 3)



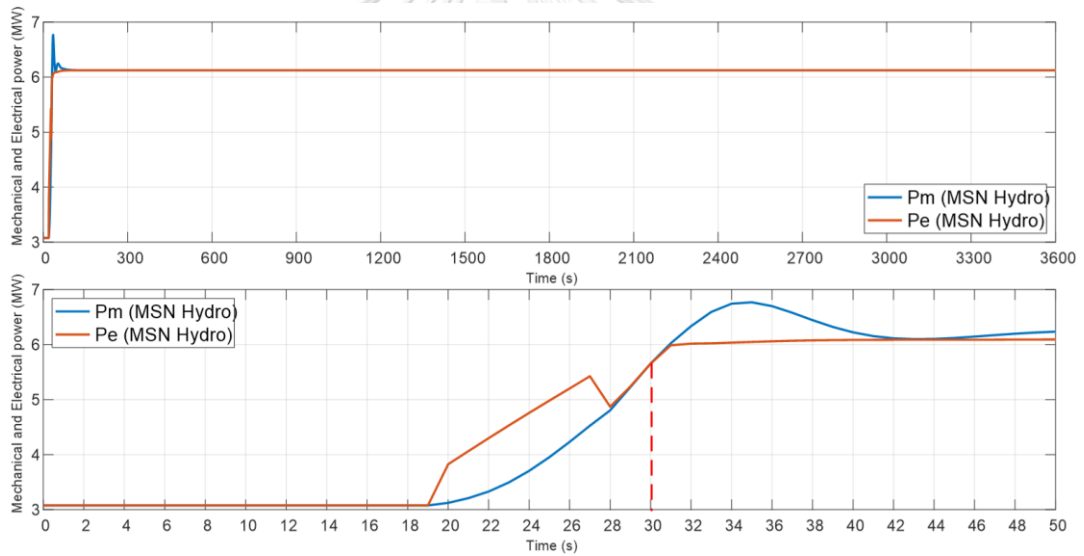
รูปที่ 6.128 ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง 2.2 เมกะวัตต์ (กรณีที่ 3)



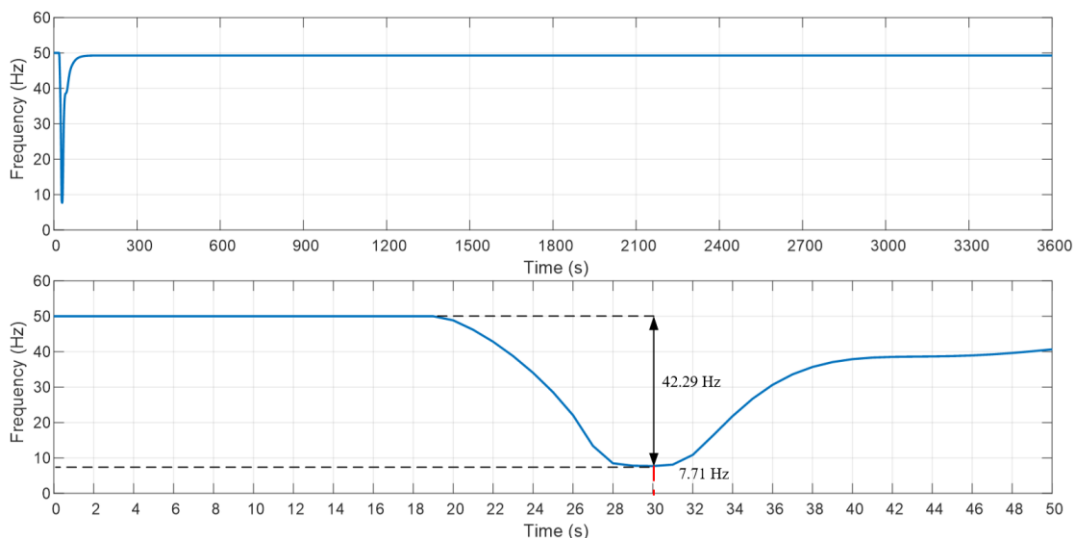
รูปที่ 6.129 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณีที่ 3)



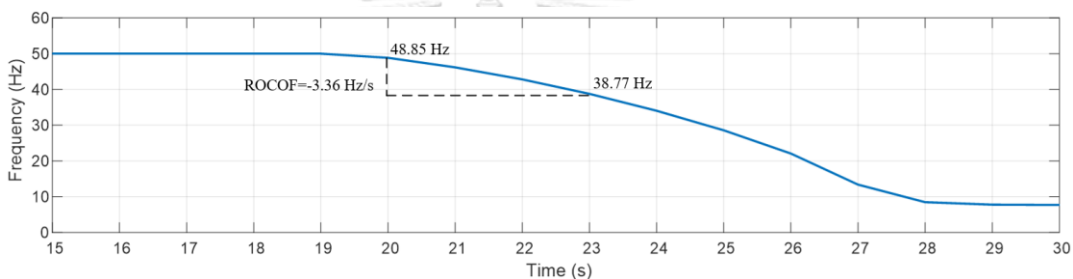
รูปที่ 6.130 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณีที่ 3)



รูปที่ 6.131 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 3)



รูปที่ 6.132 ความถี่ของระบบ (กรณี ที่ 3)



รูปที่ 6.133 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความถี่ (กรณี ที่ 3)

จากการจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเมื่อมีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 0.7 และ 2.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ส่งผลทำให้ความถี่ของระบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้เป็นอย่างมาก ดังนั้น ในลำดับถัดไปจะเป็นผลการจำลองระบบจากแนวทางการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสและระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ เพื่อต้องการให้ความถี่และอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

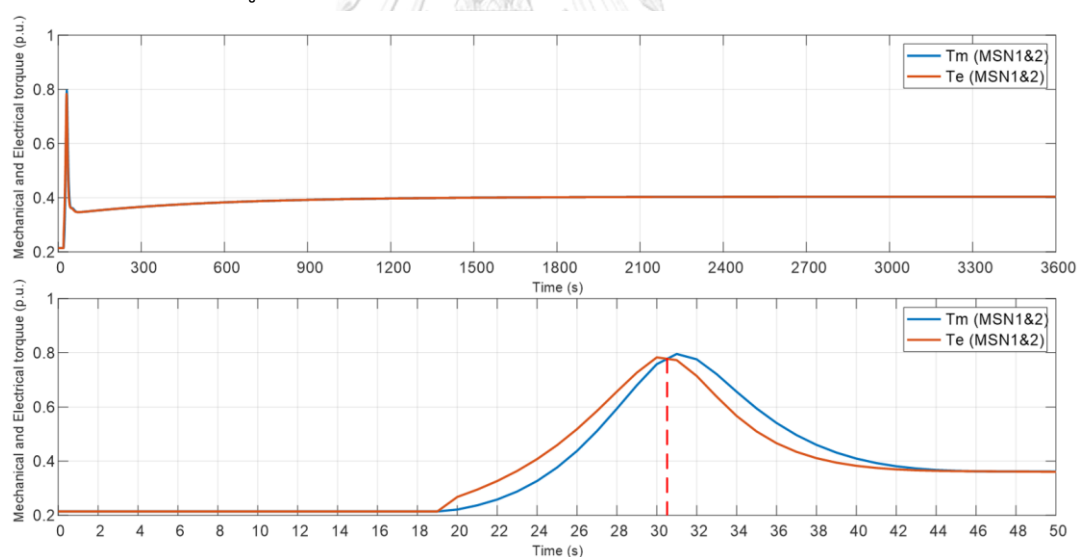
### 6.3.1 การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี ที่ 3.1)

เมื่อเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความเฉื่อย 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง ส่งผลทำให้ความถี่ในระบบเพิ่มขึ้นตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทก่อนหน้านี้ ซึ่งผลจากการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอนมีค่าพุ่งเกินที่ลดลง เนื่องจากกำลังผลิตในระบบ



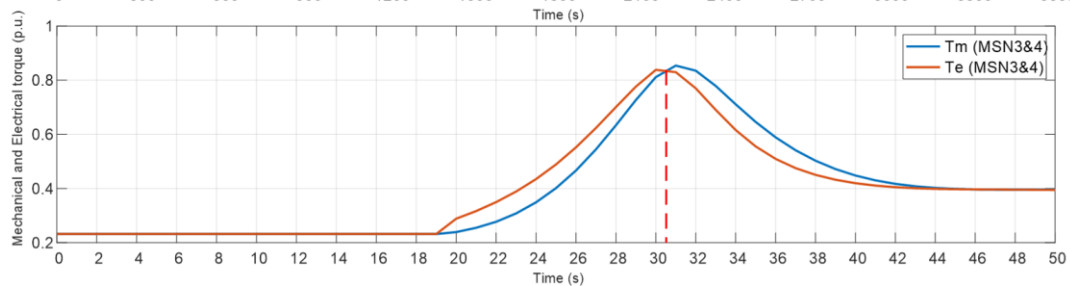
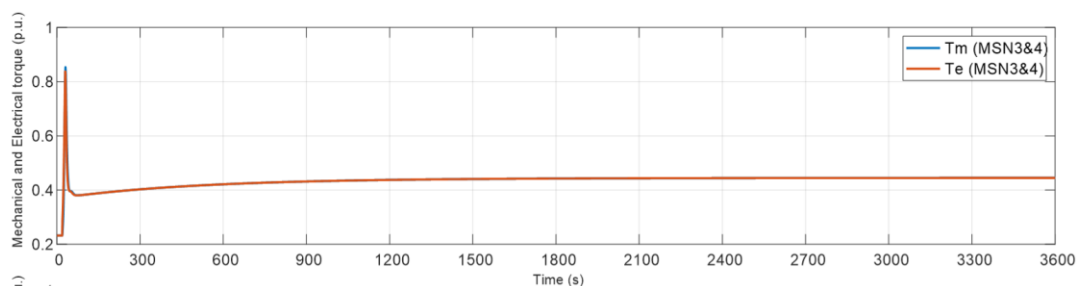
เพิ่มขึ้นจากการที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) แต่ยังไม่สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ทัน ดังรูปที่ 6.134 - รูปที่ 6.135 เช่นเดียวกันกับแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ดังรูปที่ 6.136

ในเชิงของกำลังทางกลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็ไม่สามารถตามกำลังทางไฟฟ้าได้ทันเช่นเดียวกันกับแรงบิด ดังรูปที่ 6.137 - รูปที่ 6.138 ตามลำดับ นอกจากนี้ ในช่วงวินาทีที่ 31 แรงบิดทางกลเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าตามลักษณะการทำงานของรูปชั่วขณะในระบบควบคุมกักกันส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลดลงจาก 42.29 เฮิร์ตซ์ เป็น 25.86 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดจาก 7.71 เฮิร์ตซ์ เป็น 24.14 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.139 แต่ความถี่ดังกล่าวยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้อยู่ รวมถึงการที่ความเฉื่อยในระบบเพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ -2.33 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.140 มีค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ไว้ที่ -2.81 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที แต่ยังคงเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้อยู่

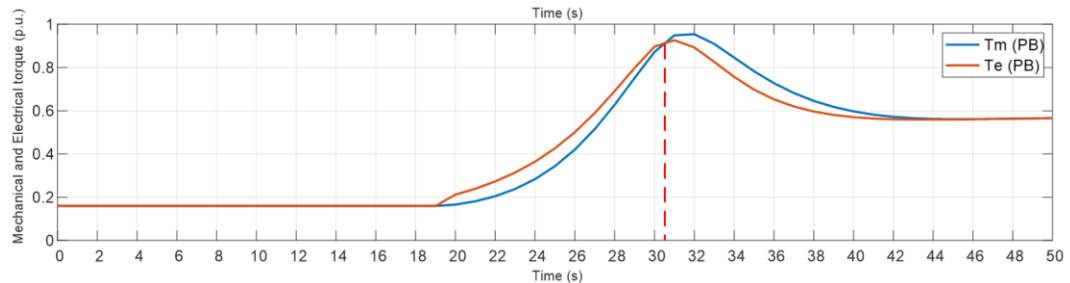
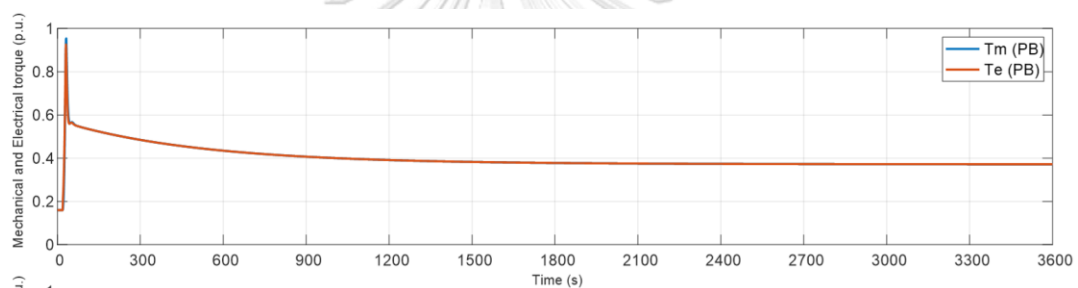


รูปที่ 6.134 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

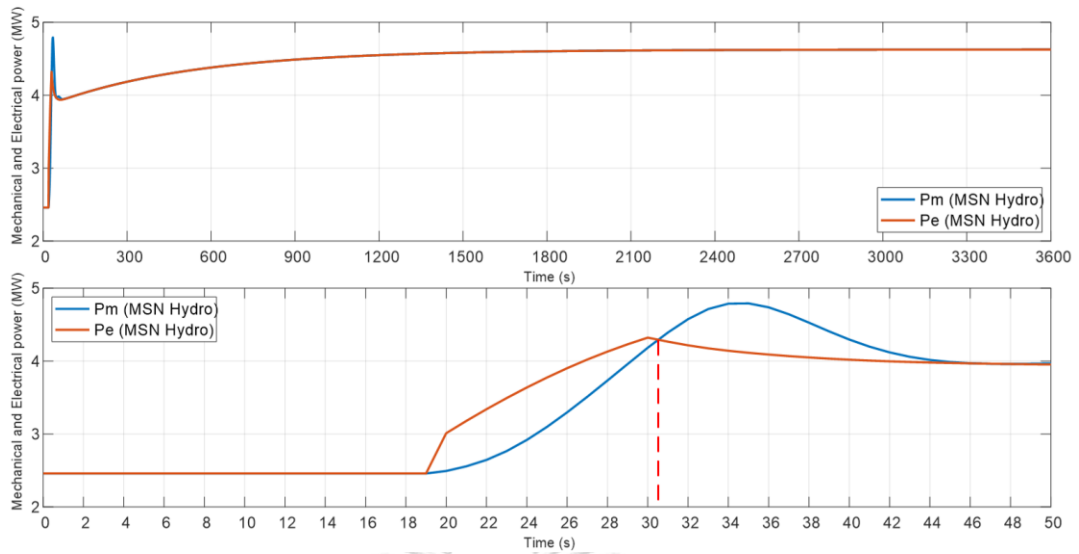
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 3.1)



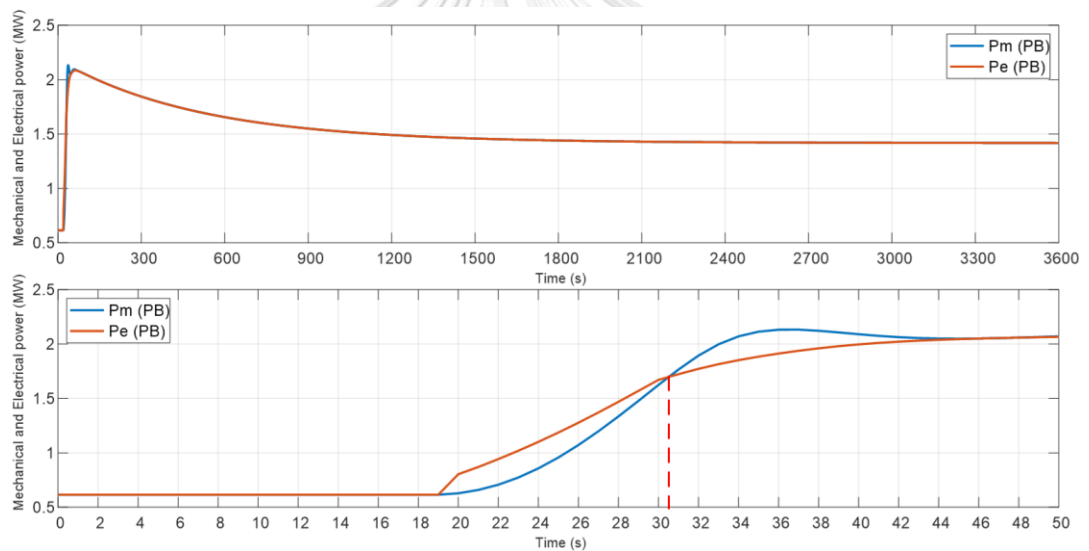
รูปที่ 6.135 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 3.1)



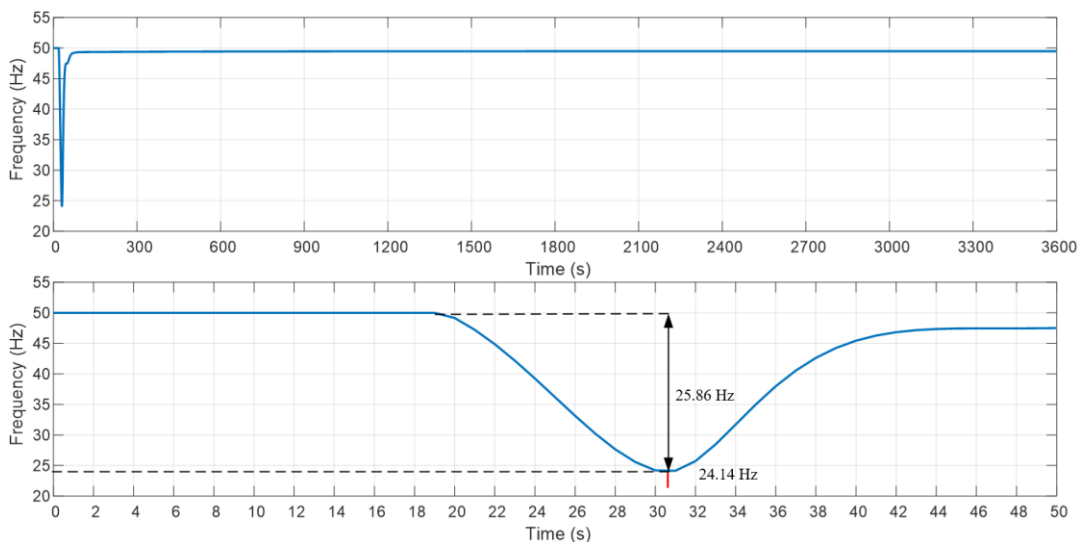
รูปที่ 6.136 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณี 3.1)



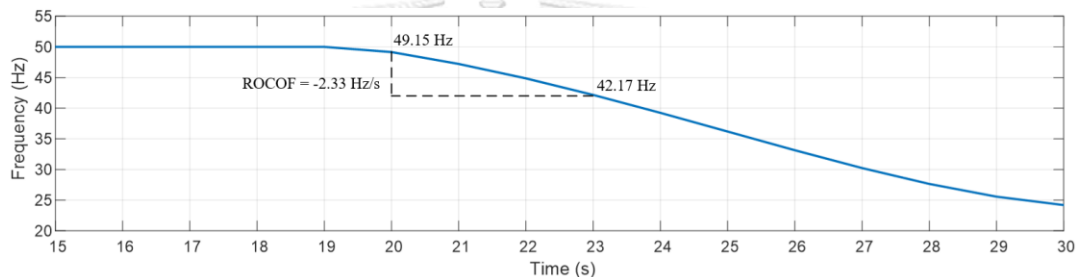
รูปที่ 6.137 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 3.1)



รูปที่ 6.138 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 3.1)



รูปที่ 6.139 ความถี่ของระบบ (กรณี 3.1)



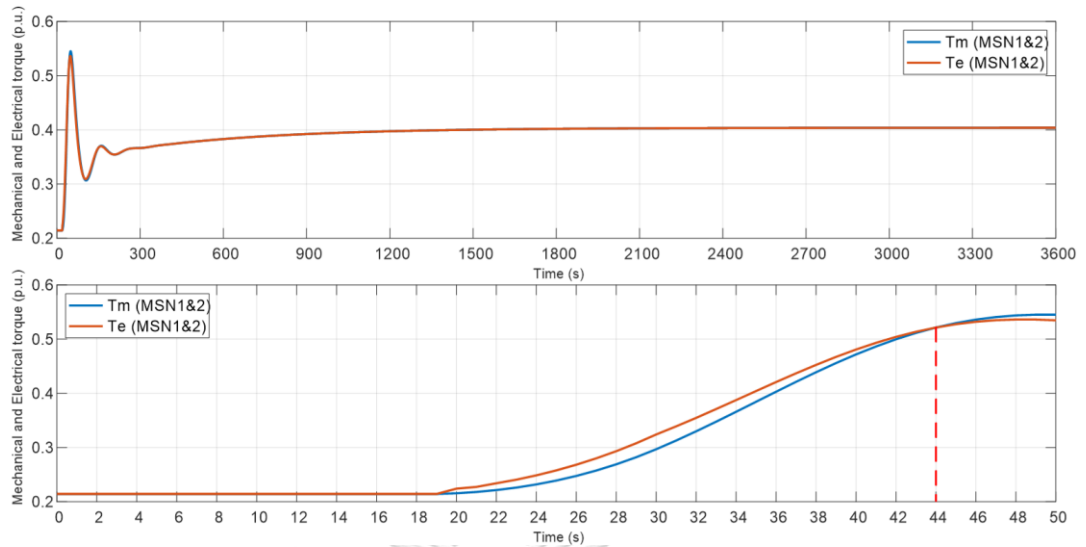
รูปที่ 6.140 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความเฉื่อย (กรณี 3.1)

เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ทำให้ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่และอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบดีขึ้น แต่ยังคงไม่เพียงพอต่อการรักษาความถี่ของระบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้อย่างที่วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 5 รวมถึงระยะเวลาที่ความถี่ต่ำสุดจะมีช่วงเวลานานกว่า เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเฉื่อยส่งผลให้การทำงานของดรูปชั่วขณะในระบบควบคุมกักกันไม่ได้ทำงานตรงตามที่เรากำหนดไว้ ดังนั้นในลำดับถัดไปจะเป็นการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสเพื่อให้ความถี่ของระบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

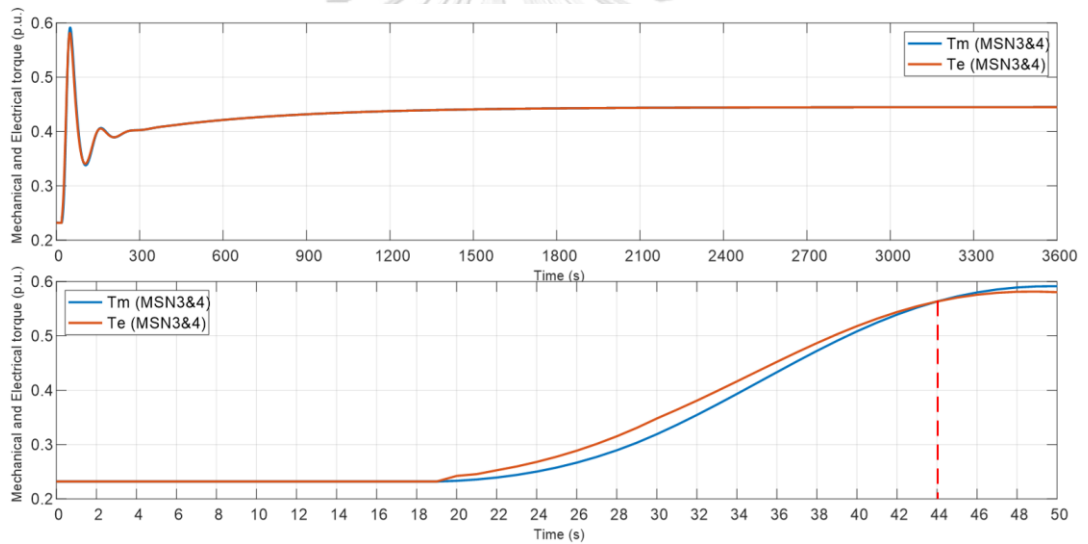
### 6.3.2 การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส (กรณี 3.2)

เมื่อเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ที่มีโมเมนต์ความเฉื่อย 52.28 กิโลกรัมเมตรกำลังสอง และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสที่มีโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 1 – 3 เท่ากับ 202.64 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และโมเมนต์ความเฉื่อยของโรงที่ 4 – 6 เท่ากับ 162.11 กิโลกรัมเมตรกำลังสองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ส่งผลทำให้ความเฉื่อยในระบบเพิ่มขึ้นตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในตอนก่อนหน้านี้ ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอนมีแนวโน้มที่จะเริ่มเปลี่ยนแปลงตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ทัน มีผลต่างระหว่างแรงบิดทั้งสองลดลง ดังรูปที่ 6.141 - รูปที่ 6.142 ส่วนพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีลักษณะคล้ายกันและค่าพุ่งเกินลดลงเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.143 เนื่องจากมีโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสเข้ามาช่วยจ่ายพลังงานจลน์สะสมในรูปของแรงบิดทางไฟฟ้าให้กับระบบ ดังรูปที่ 6.144 - รูปที่ 6.145 หรืออาจกล่าวได้ว่าลักษณะของโพลต์ในค่าต่อหน่วยที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กทั้ง 5 โรง ต้องจ่ายกำลังมีค่าน้อยลง

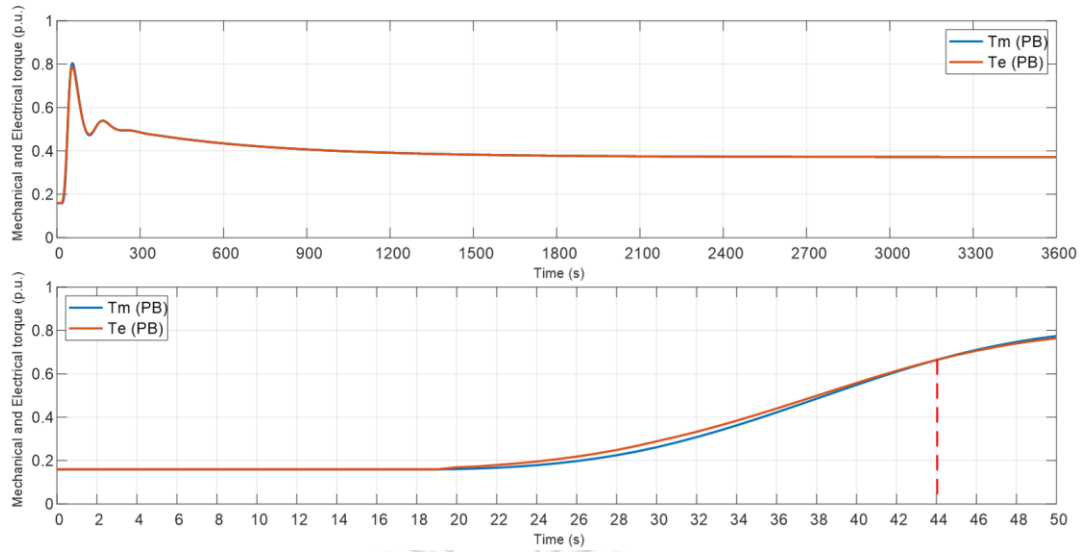
ในเชิงกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน และแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีลักษณะแนวโน้มที่เริ่มเปลี่ยนแปลงได้ทันกับกำลังทางไฟฟ้าหรือมีผลต่างระหว่างกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าน้อยลงกว่าในกรณีที่ไม่มีโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสในระบบ ดังรูปที่ 6.146 - รูปที่ 6.147 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะมีพฤติกรรมการจ่ายพลังงานจลน์สะสมหรือกำลังไฟฟ้ามาช่วย ดังรูปที่ 6.148 ซึ่งพฤติกรรมต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลดลงจาก 42.29 เฮิร์ตซ์ เป็น 14.83 เฮิร์ตซ์ หรือความถี่ต่ำสุดจาก 7.71 เฮิร์ตซ์ เป็น 35.17 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.149 ซึ่งความถี่ดังกล่าวยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้อยู่ แต่ในเชิงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีค่าเท่ากับ -0.413 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ดังรูปที่ 6.150 มีค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ไว้ที่ -0.443 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที



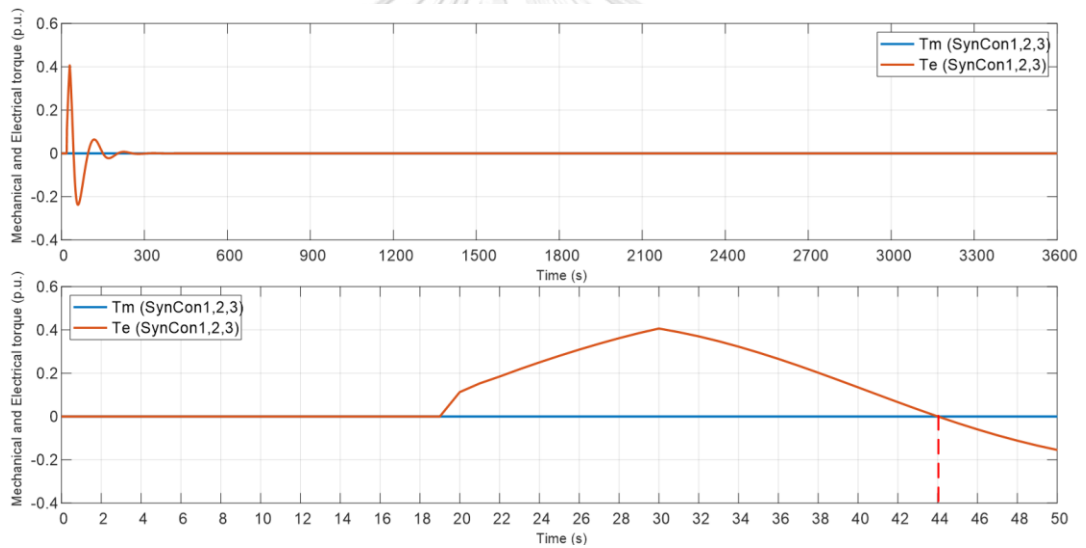
รูปที่ 6.141 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 3.2)



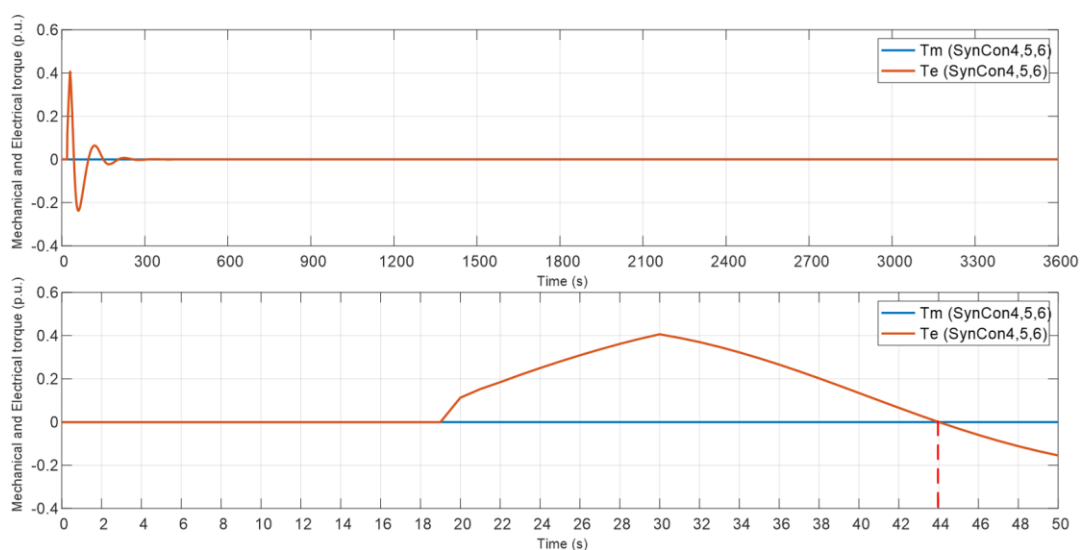
รูปที่ 6.142 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 3.2)



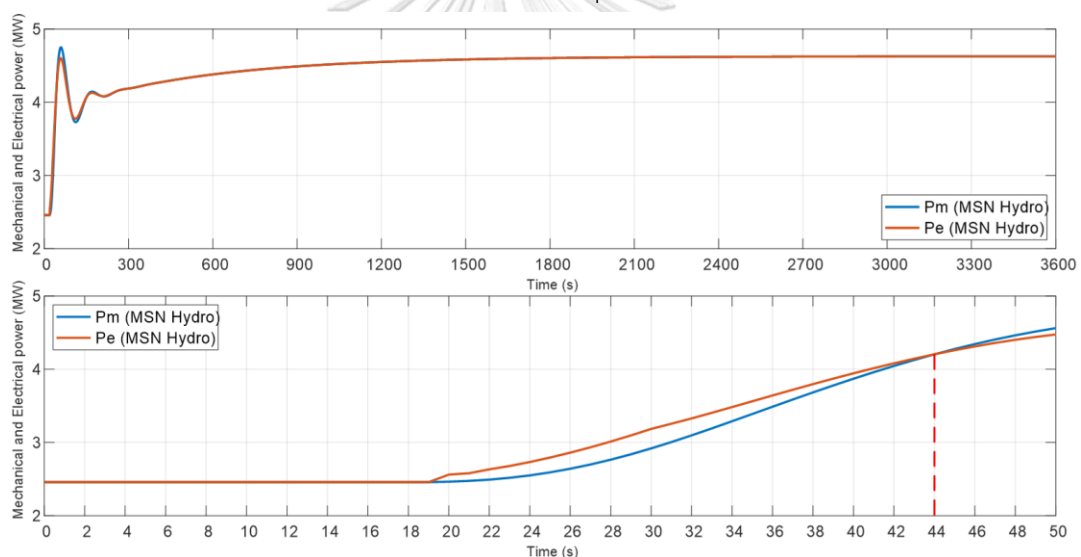
รูปที่ 6.143 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 3.2)



รูปที่ 6.144 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีที่ 3.2)

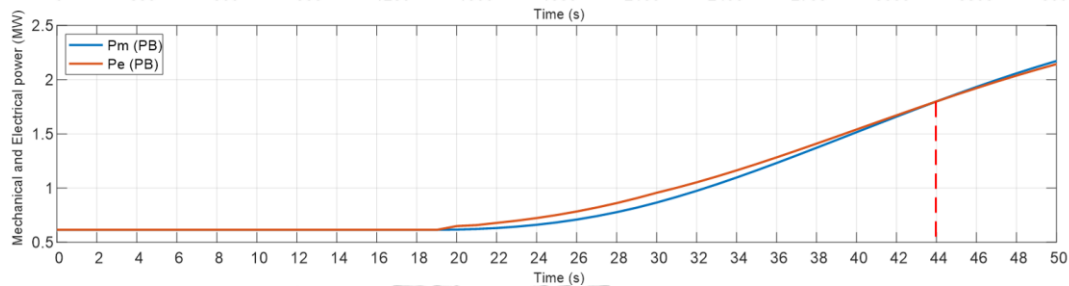
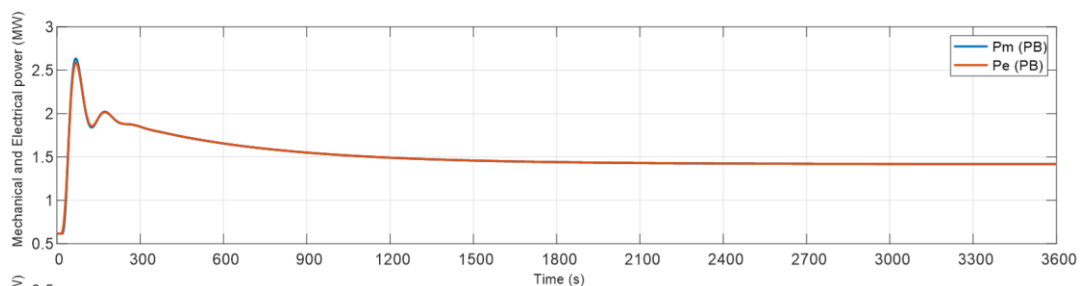


รูปที่ 6.145 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณีที่ 3.2)



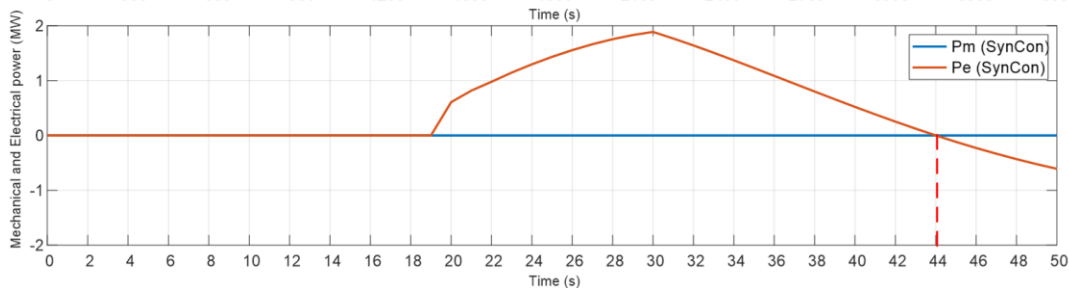
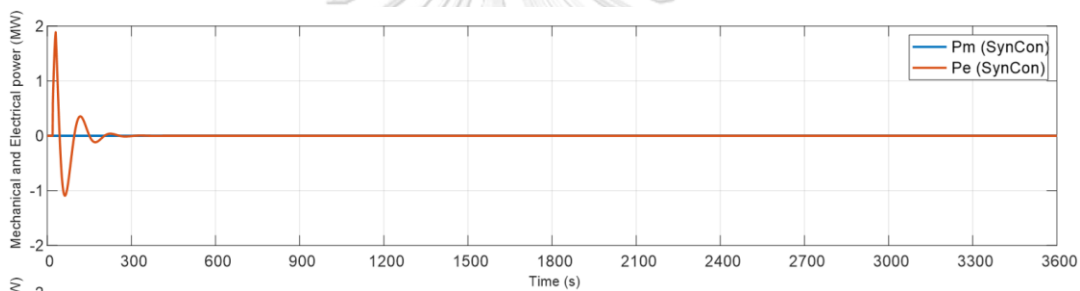
รูปที่ 6.146 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณีที่ 3.2)





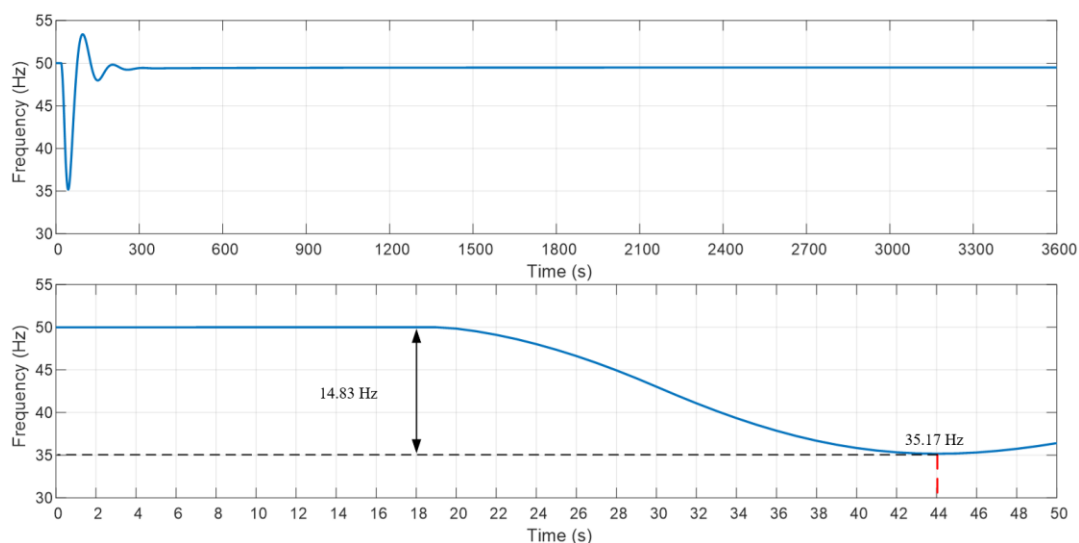
รูปที่ 6.147 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 3.2)

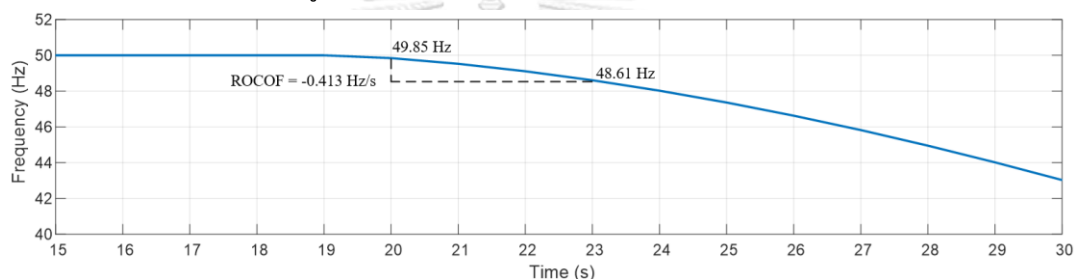


รูปที่ 6.148 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีที่ 3.2)



รูปที่ 6.149 ความถี่ของระบบ (กรณี 3.2)

รูปที่ 6.150 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความถี่  
(กรณี 3.2)

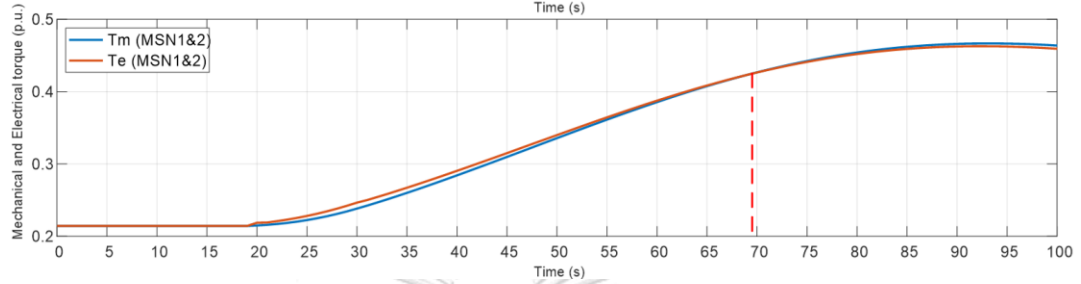
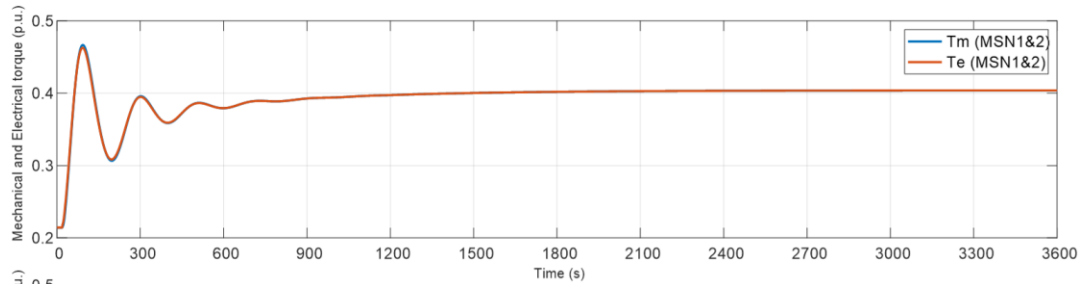
การจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ในทางตรงกันข้ามด้านความเบี่ยงเบนของความถี่ดีขึ้นแต่ยังคงไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งหากต้องการให้ความถี่อยู่ในระบบจึงมีแนวคิดที่จะนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาแก้ไขปัญหาความถี่ของระบบที่ยังคงเกินขอบเขตที่กำหนดอยู่ด้วยวิธีความถี่เสมือน นอกจากนี้หากสังเกตเพิ่มเติมจะพบว่ากรณีที่ในระบบมีความถี่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ระยะเวลาที่ความถี่จะต่ำสุดมีช่วงเวลาที่นานออกไป ทั้งนี้มาจากการที่รูปชั่วขณะของระบบควบคุมกักเก็บไม่ได้ทำงานตรงตามที่เราที่กำหนดไว้และในช่วงที่ความถี่ต่ำสุดนั้น อนุพันธ์ความถี่เท่ากับ 0 โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสจะไม่มีการจ่ายแรงบิดหรือกำลังทางไฟฟ้าออกมา

### 6.3.3 การแก้ไขความถี่ต่ำของระบบด้วยระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 3.3)

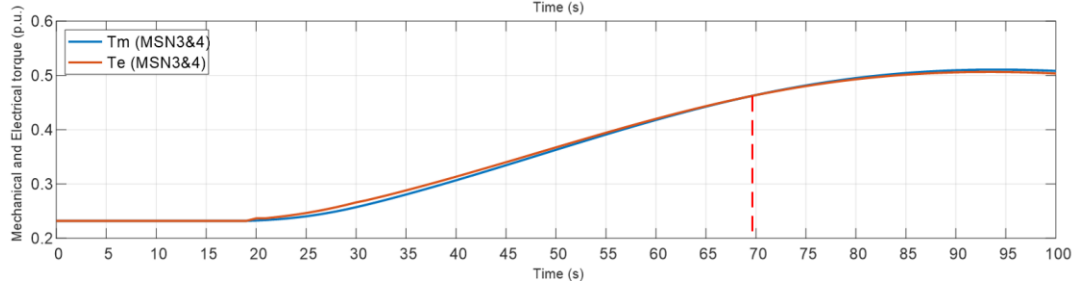
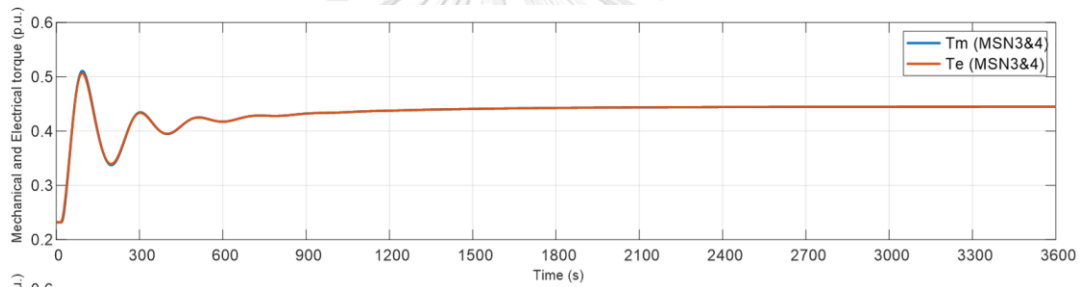
#### 6.3.3.1 การเพิ่มความเฉื่อยของระบบจากความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีที่ 3.3.1)

ผลจากการจำลองระบบเมื่อให้ระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือน 40.95 วินาที พบว่าแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงามีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงตามแรงบิดทางไฟฟ้าได้ทัน ดังรูปที่ 6.151 - รูปที่ 6.152 แต่ยังคงมีผลต่างระหว่างแรงบิดทั้งสองอยู่ ส่วนพฤติกรรมแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีลักษณะที่ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดทางไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.153 โดยแรงบิดทางกลจะเท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าในช่วงประมาณวินาทีที่ 70 ซึ่งจะเป็นช่วงที่แรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสไม่จ่ายพลังงานจลน์สะสมออกมาหรือมีค่าแรงบิดทางไฟฟ้าเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 6.154 - รูปที่ 6.155

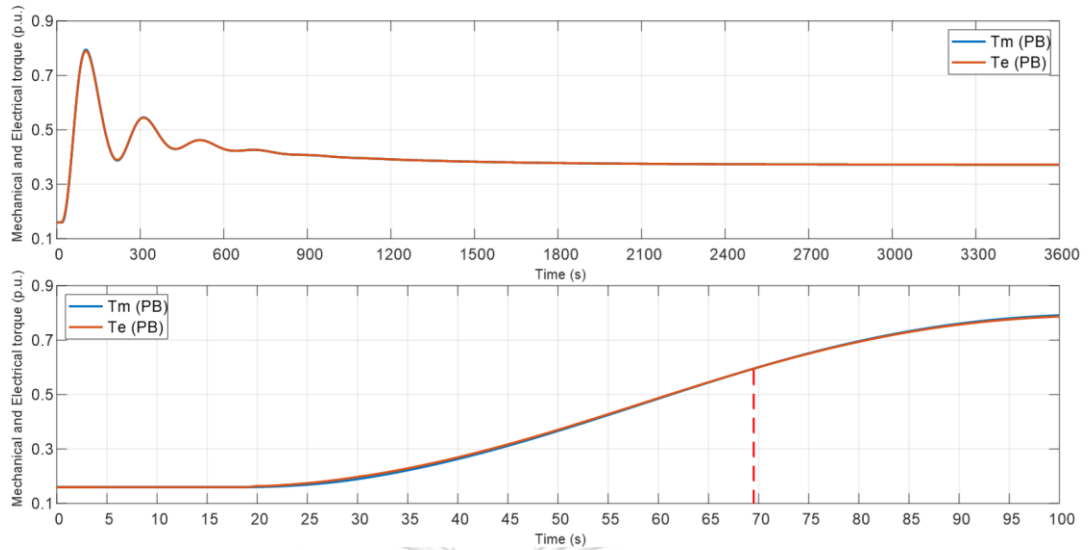
กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีพฤติกรรมเช่นเดียวกันกับแรงบิดทางกลและทางไฟฟ้า กล่าวคือ ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของความผันผวน กำลังทางกลยังคงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันกับกำลังทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป แต่จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น ดังรูปที่ 6.156 - รูปที่ 6.157 ตามลำดับ นอกจากนี้ช่วงเวลาที่เกิดความผันผวนขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสจะช่วยจ่ายพลังงานจลน์สะสมออกมาในรูปแบบของการจ่ายกำลังทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.158 รวมถึงระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะช่วยจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาตามความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 6.159 ซึ่งพฤติกรรมต่าง ๆ นี้ส่งผลทำให้ความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความถี่ลดลงประมาณ 0.49 เฮิร์ตซ์ อยู่ที่ 49.51 เฮิร์ตซ์ ตรงกับที่คาดการณ์ไว้ว่าระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเฉื่อยเสมือน 40.95 เฮิร์ตซ์ จะช่วยรักษาความถี่ของระบบในช่วงการตอบสนองของความถี่ได้ แต่ด้านความเบี่ยงเบนของความถี่ยังคงมีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีค่าอยู่ที่ 8.30 เฮิร์ตซ์ ทำให้ความถี่ของระบบต่ำสุดอยู่ที่ 41.70 เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 6.160 เนื่องจากช่วงเวลาที่ความถี่ต่ำสุดนั้น อนุพันธ์ความถี่เท่ากับ 0 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะไม่จ่ายกำลังทางไฟฟ้ามาช่วยลดความผันผวนที่เกิดขึ้น



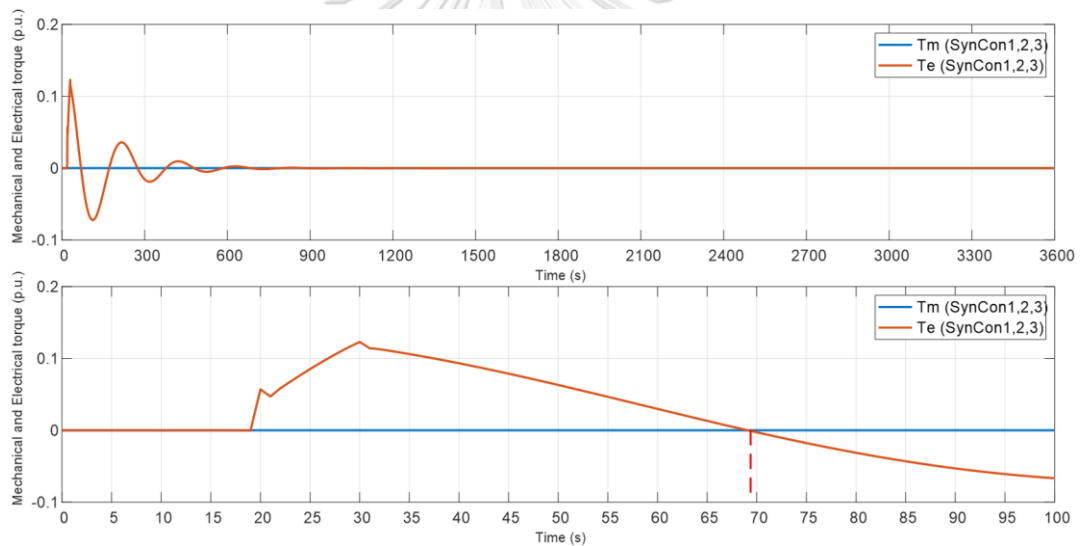
รูปที่ 6.151 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 3.3.1)



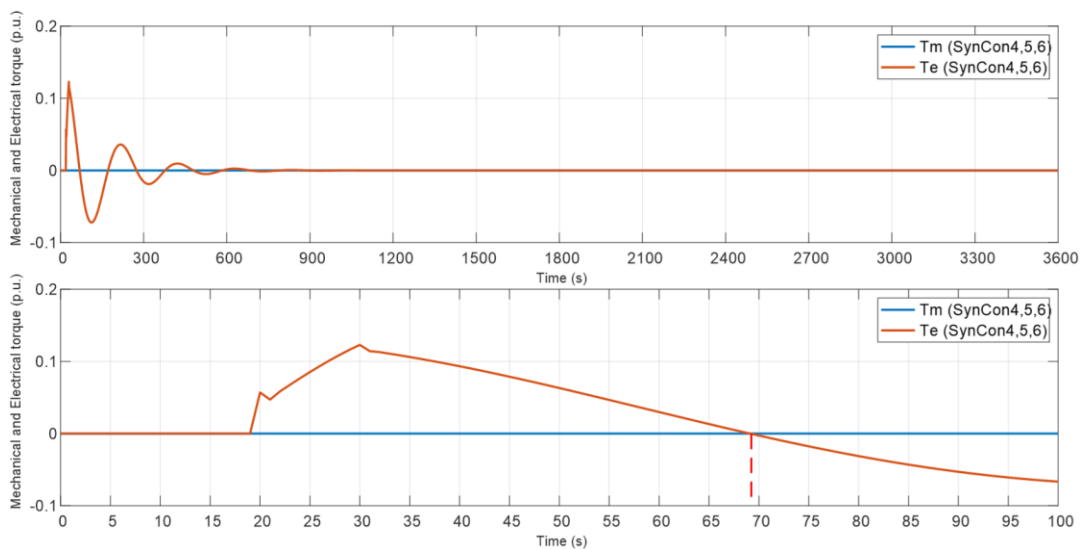
รูปที่ 6.152 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 3.3.1)



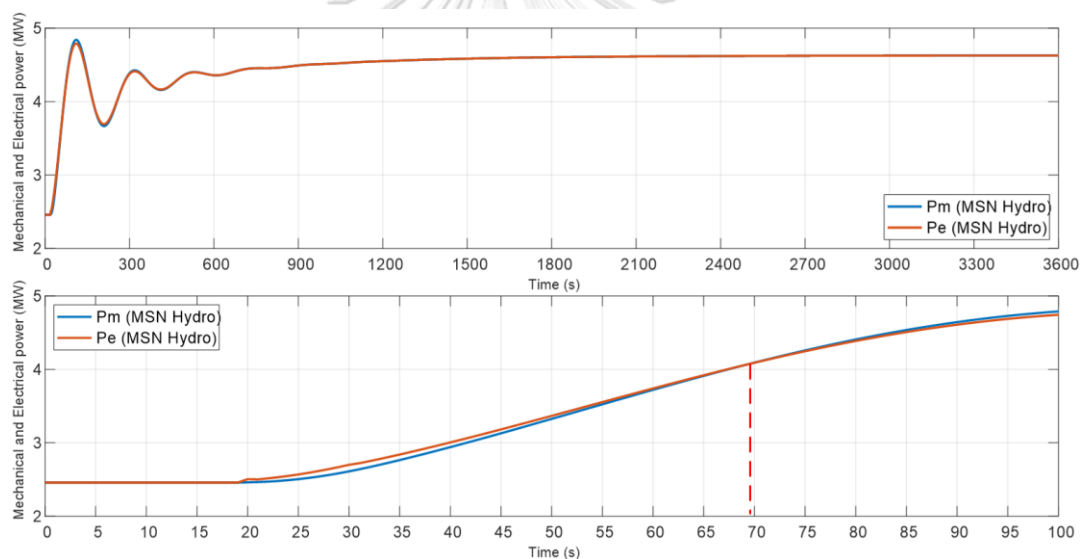
รูปที่ 6.153 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษา 3.3.1)



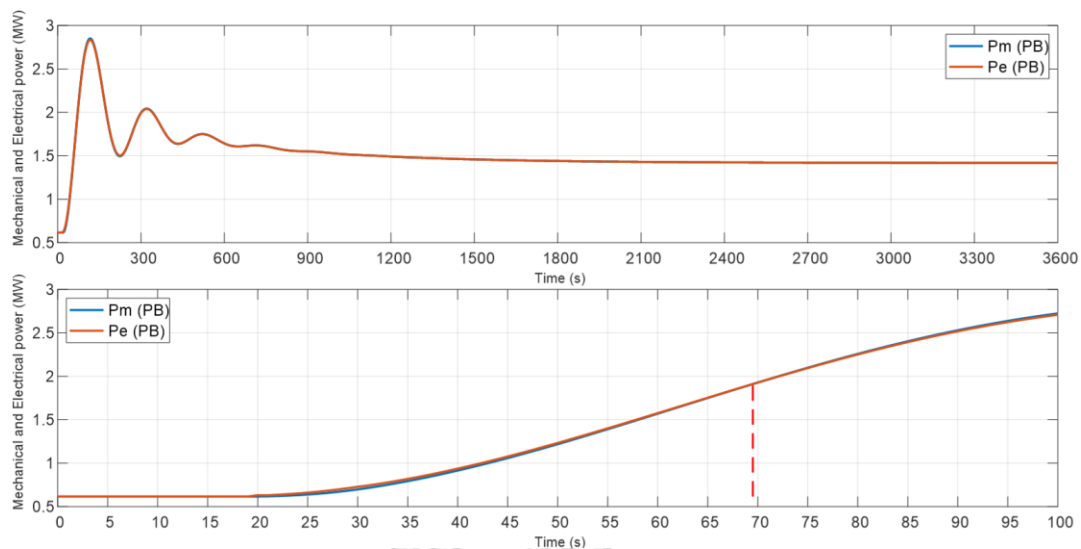
รูปที่ 6.154 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษา 3.3.1)



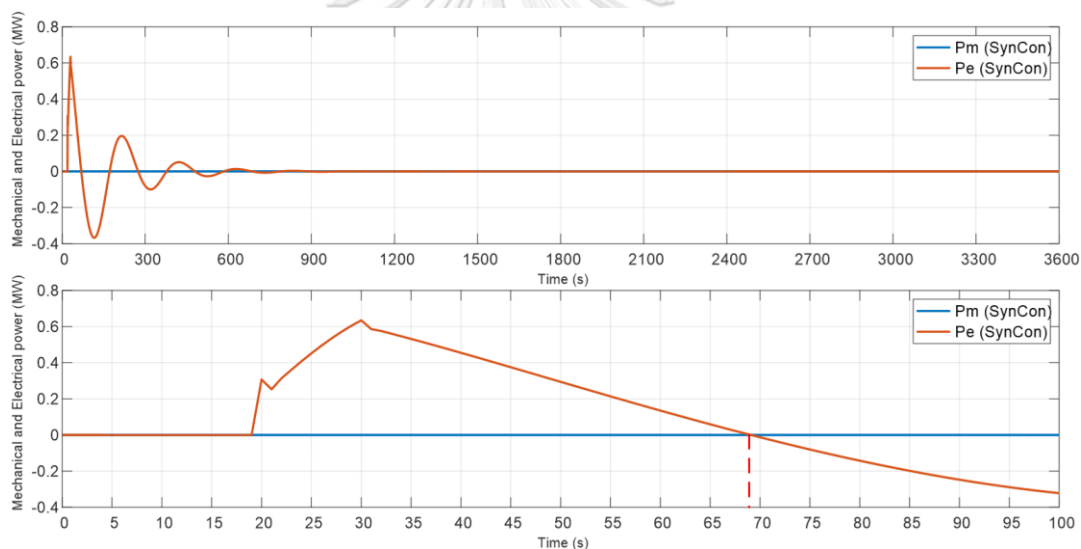
รูปที่ 6.155 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณี 3.3.1)



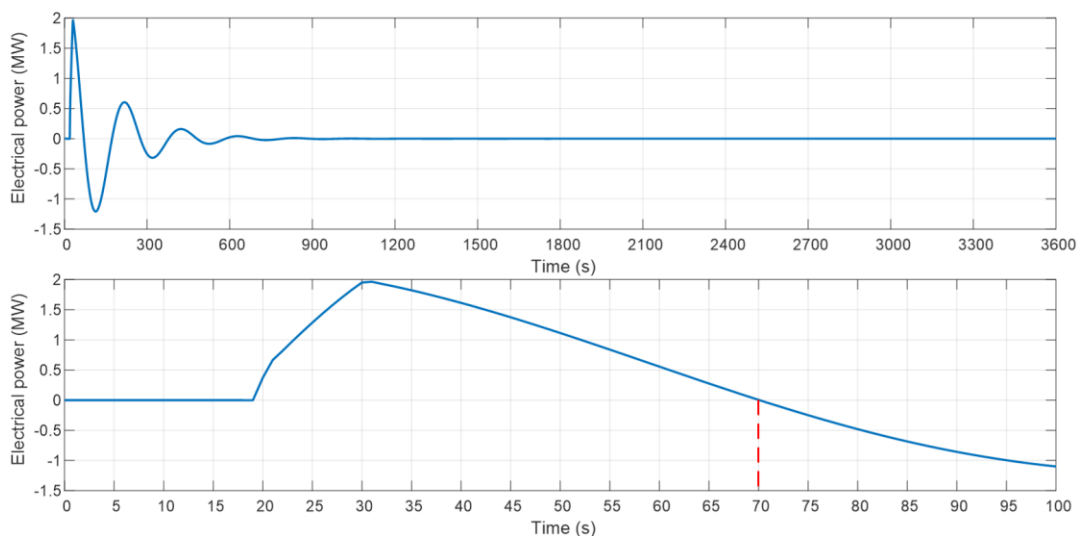
รูปที่ 6.156 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณี 3.3.1)



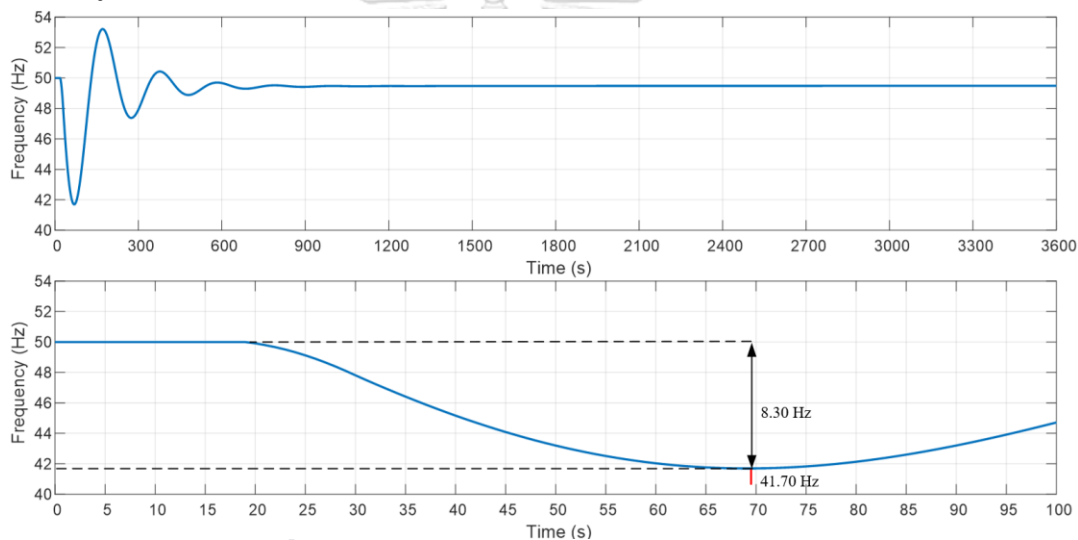
รูปที่ 6.157 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีที่ 3.3.1)



รูปที่ 6.158 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีที่ 3.3.1)



รูปที่ 6.159 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 3.3.1)



รูปที่ 6.160 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 3.3.1)

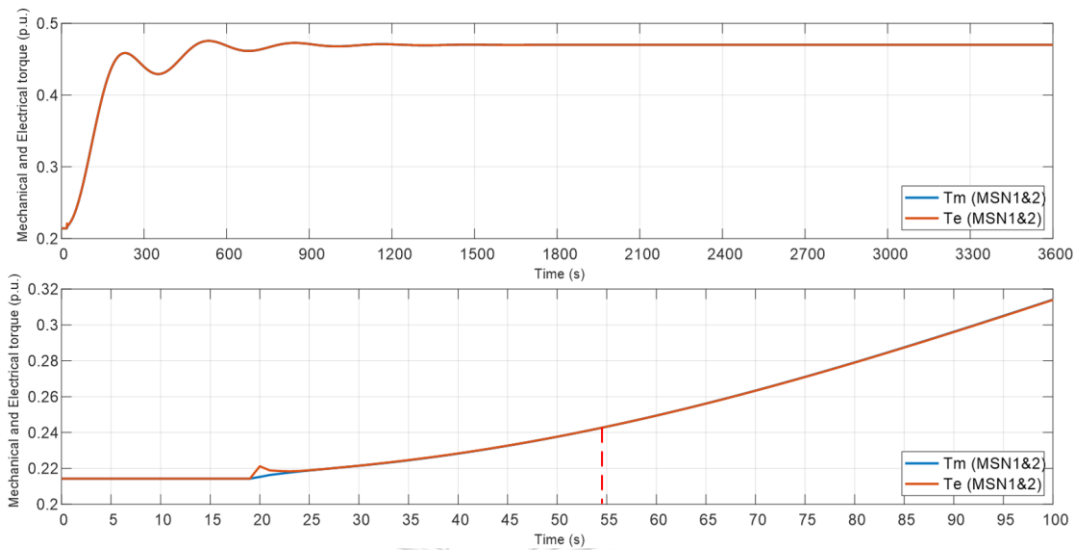
การที่ระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนสามารถช่วยรักษาความถี่ในช่วงการตอบสนองของความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้เมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ไม่สามารถรักษาความถี่ของระบบทั้งหมดได้ เนื่องจากช่วงที่ความถี่ต่ำสุดนั้นระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะไม่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาอย่างที่เราคาดหวัง ดังนั้นจึงมีแนวทางในการเปลี่ยนระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จากความเฉื่อยเสมือนเป็นระบบควบคุมความถี่ไฟฟ้าในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในลำดับถัดไป



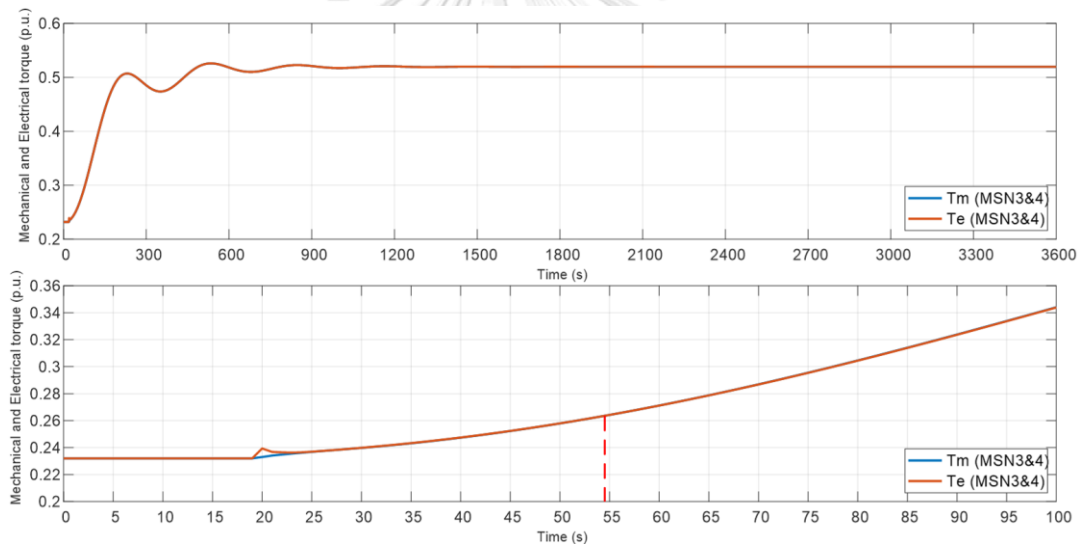
### 6.3.3.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กรณีที่ 3.3.2)

เมื่อระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีการควบคุมความถี่ไฟฟ้าในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการเพิ่มการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคาดหวังในการลดความเบี่ยงเบนของความถี่ให้ลดลงและความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าแรงบิดทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกับแรงบิดทางไฟฟ้าแต่ในช่วงวินาทีที่เกิดความผันผวนขึ้น ผลต่างระหว่างแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้ายังคงมีมากอยู่ เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายกำลังออกมาเพื่อลดความผันผวนในช่วงดังกล่าวได้ทัน ดังนั้น ภาระการจ่ายโหลดของระบบจะเป็นหน้าที่ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ดังรูปที่ 6.161 - รูปที่ 6.163 นอกจากนี้พฤติกรรมของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสยังช่วยจ่ายแรงบิดทางไฟฟ้าเพื่อลดขนาดโหลดในค่าต่อหน่วยที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำต้องรับภาระจ่ายอีกด้วย โดยมีลักษณะแรงบิดทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.164 - รูปที่ 6.165

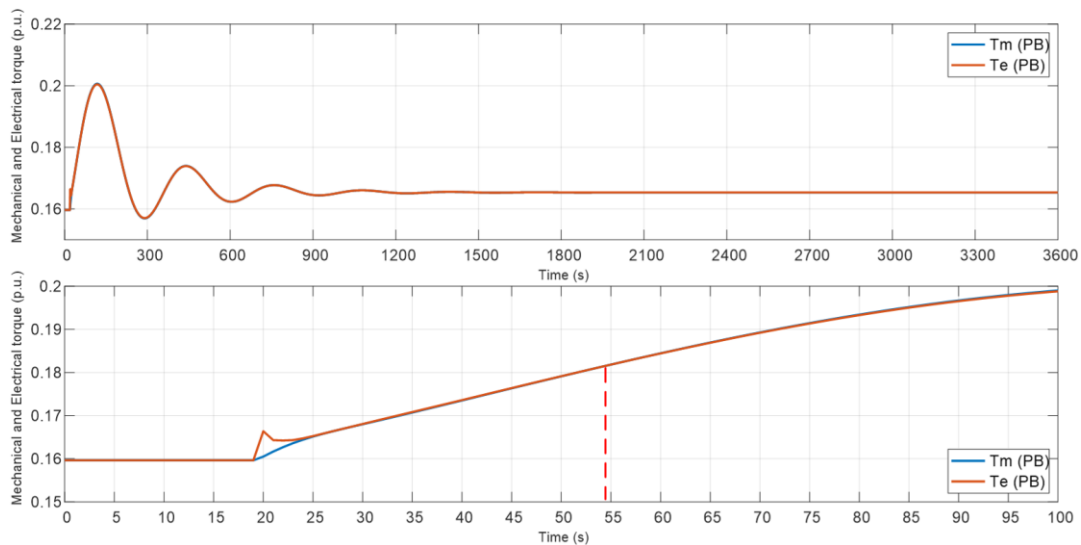
ในเชิงกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าก็มีลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาและแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับแรงบิด คือในช่วงแรกจะยังมียผลต่างระหว่างกำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าอยู่ แต่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังทั้งสองมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น ดังรูปที่ 6.166 - รูปที่ 6.167 รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัสมีการจ่ายช่วยพลังงานจลน์สะสมในรูปแบบของกำลังทางไฟฟ้ามาเพื่อลดความผันผวนที่เกิดขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 6.168 นอกจากนี้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะทำการปรับเรียบกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 6.169 ร่วมกับระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูง ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่มีค่าเท่ากับ 0.49 เฮิร์ตซ์ หรือมีความถี่ต่ำสุด 49.51 เฮิร์ตซ์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามที่เราต้องการแล้ว



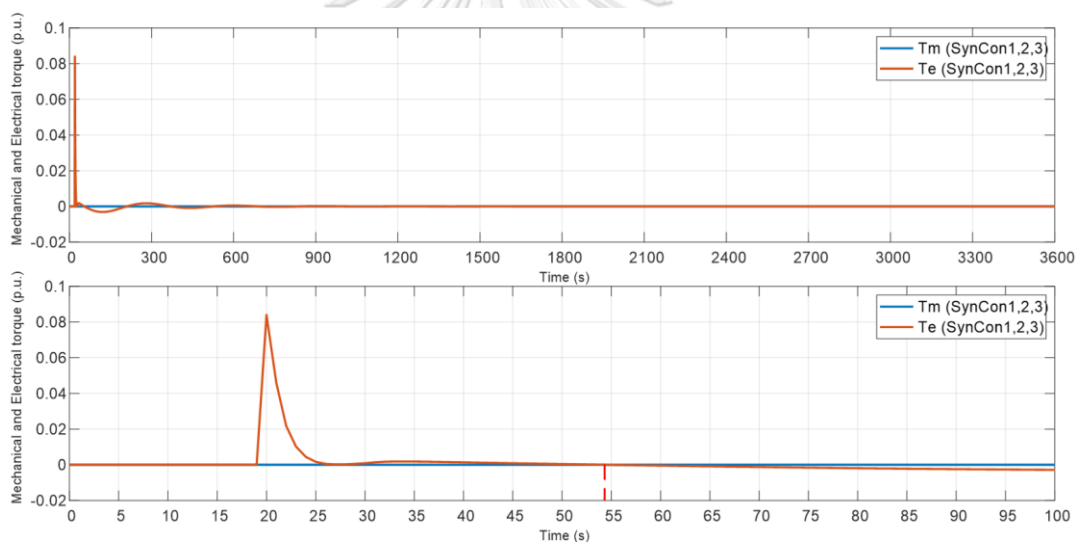
รูปที่ 6.161 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1 และ 2 (กรณี 3.3.2)



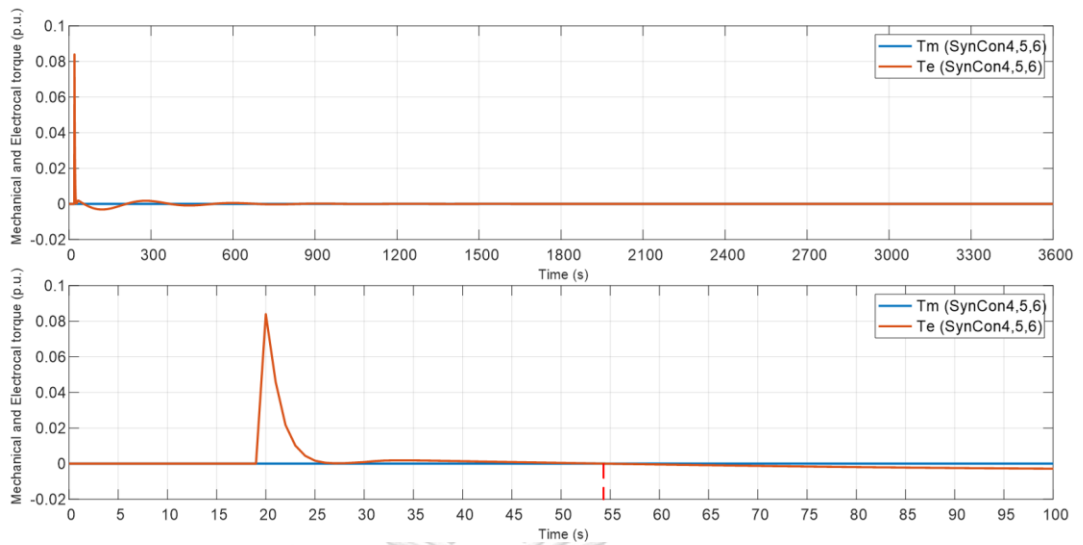
รูปที่ 6.162 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 3 และ 4 (กรณี 3.3.2)



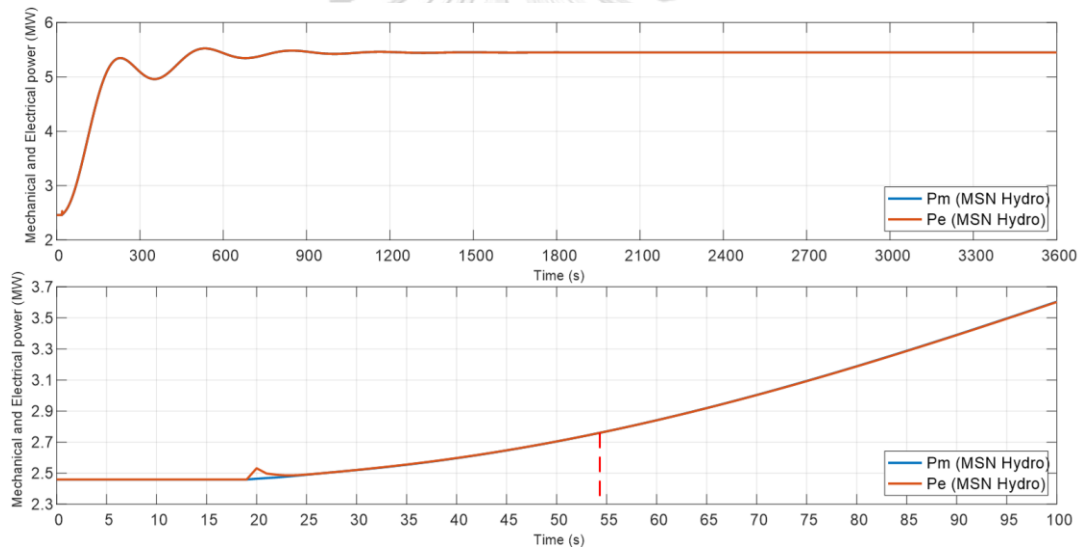
รูปที่ 6.163 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษา 3.3.2)



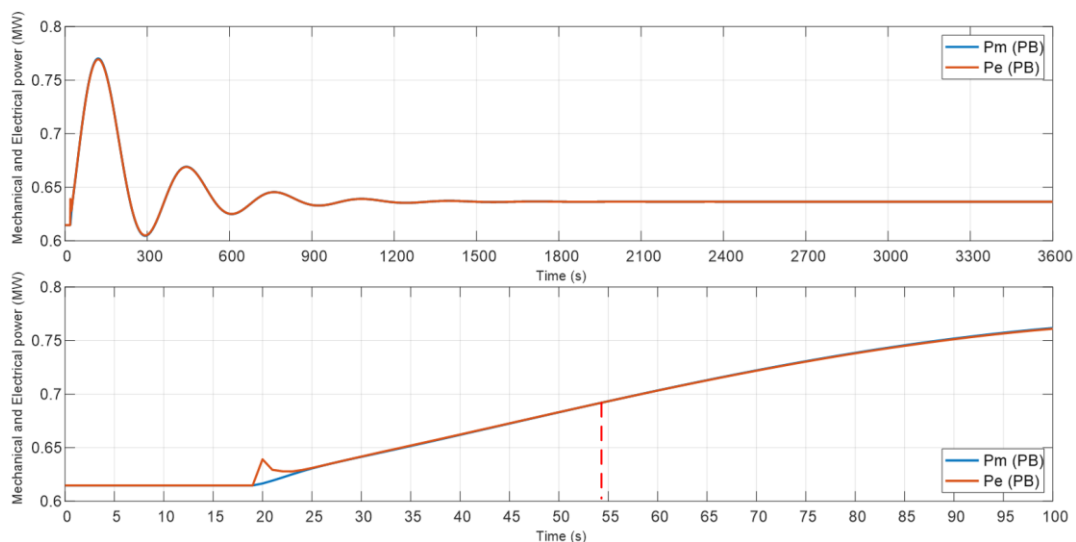
รูปที่ 6.164 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1, 2, 3 (กรณีศึกษา 3.3.2)



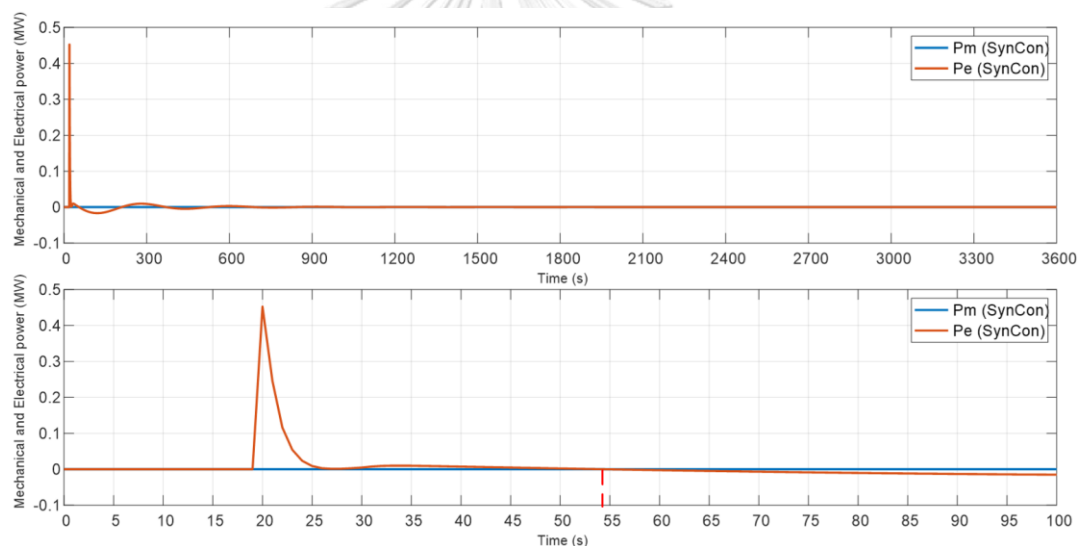
รูปที่ 6.165 แรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 4, 5, 6 (กรณี 3.3.2)



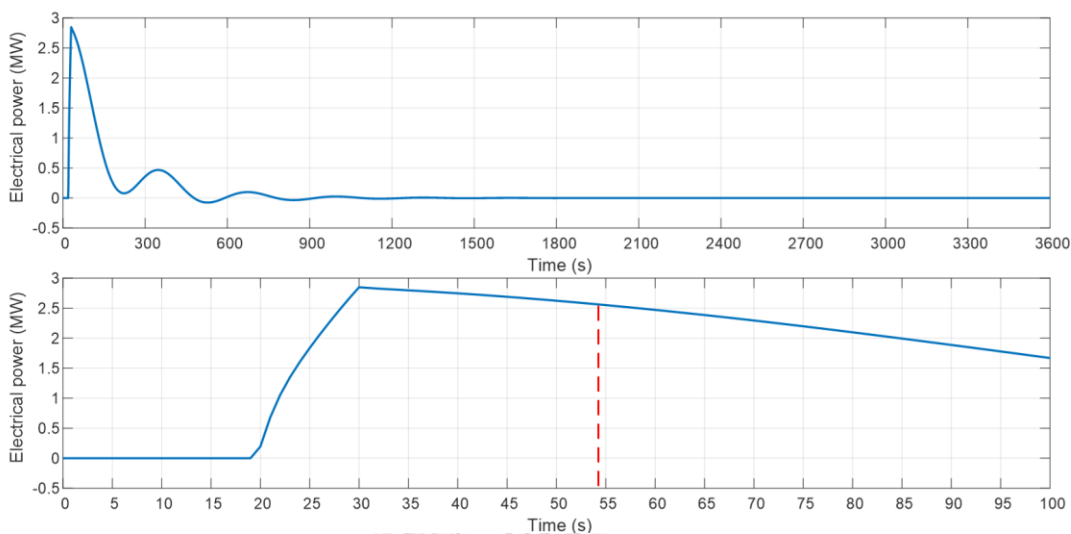
รูปที่ 6.166 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา โรงที่ 1-4 (กรณี 3.3.2)



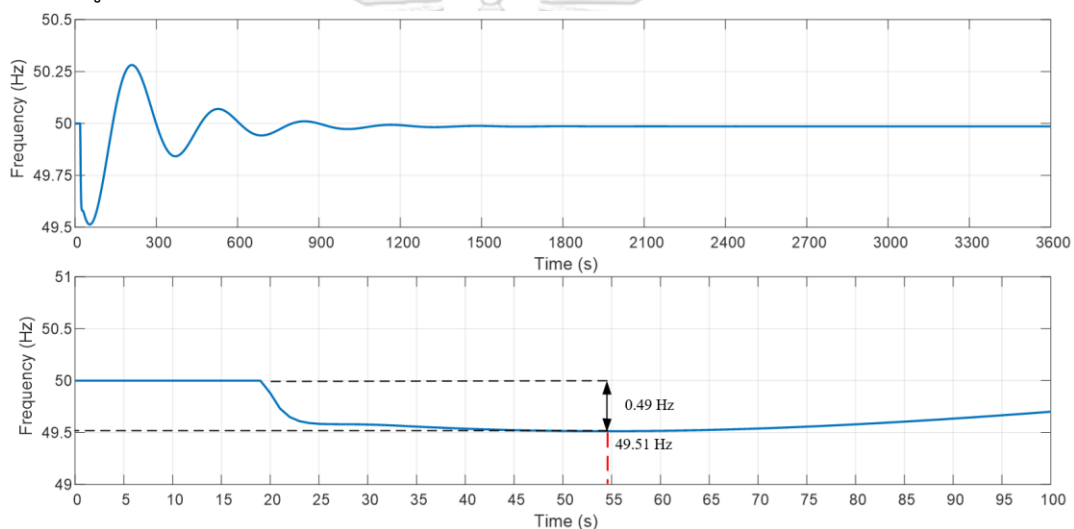
รูปที่ 6.167 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) (กรณีศึกษาที่ 3.3.2)



รูปที่ 6.168 กำลังทางกลและกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซิงโครนัส โรงที่ 1-6 (กรณีศึกษาที่ 3.3.2)



รูปที่ 6.169 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (กรณีศึกษาที่ 3.3.2)



รูปที่ 6.170 ความถี่ของระบบ (กรณีศึกษาที่ 3.3.2)

จากการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีการควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาแทนการใช้ความเฉื่อยเสมือนสามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ทำให้ความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

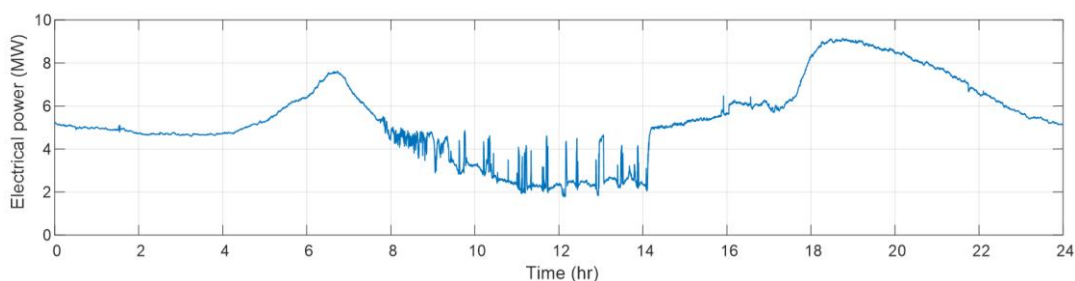
### 6.3.4 ผลการจำลองระบบ 24 ชั่วโมง ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากวิธีต่าง ๆ ของกรณีศึกษาที่ 3 – 3.3.2 สามารถจำลองระบบในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 24 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มความเฉื่อยเพิ่มเติมจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้า

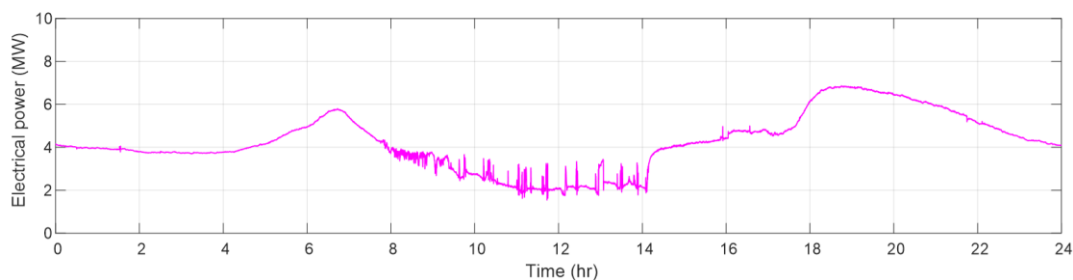
ดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส สามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบได้ รวมถึงในการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนหรือระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ได้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน สามารถแสดงพฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ในพื้นที่ได้ใน 24 ชั่วโมง ดังนี้

#### 6.3.4.1 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

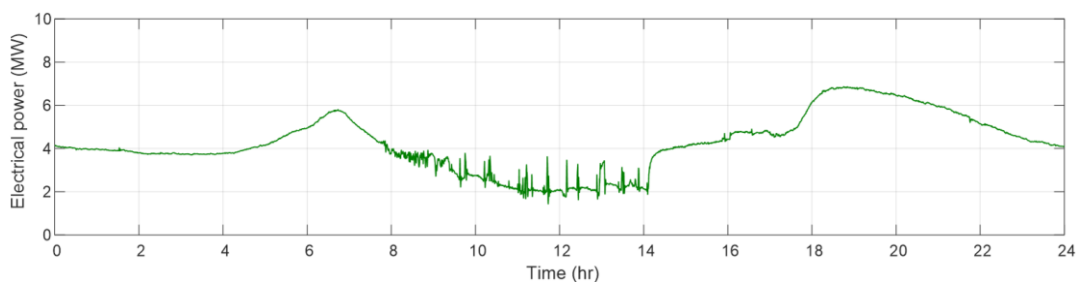
พฤติกรรมการทำงานจ่ายกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง ในวันที่ความผันผวนโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความผันผวนสูงพบว่าในระบบที่มีความเฉื่อยต่ำ ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 6.171 และหากสังเกตจะพบว่าการเพิ่มเติมความเฉื่อยและการที่ระบบมีกำลังผลิตเพิ่มจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา (ผาบ่อง) ส่งผลให้ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาลดลงได้อีกด้วย ดังรูปที่ 6.172 และยิ่งในระบบมีความเฉื่อยเพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสจะส่งผลให้กำลังทางไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาต้องจ่ายออกมามีความผันผวนลดลง ดังรูปที่ 6.173 รวมถึงการที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนก็ช่วยลดความผันผวนลงเช่นกัน ดังรูปที่ 6.174 อย่างไรก็ตาม หากเทียบกับระบบควบคุมความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลให้ความผันผวนของกำลังทางไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาต้องจ่ายออกมามีความผันผวนน้อยสุด ดังรูปที่ 6.175 ทั้งนี้มาจากการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ทำการปรับเรียบก่อนกำลังผลิตดังกล่าวเข้าสู่ระบบทำให้ลักษณะความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลง



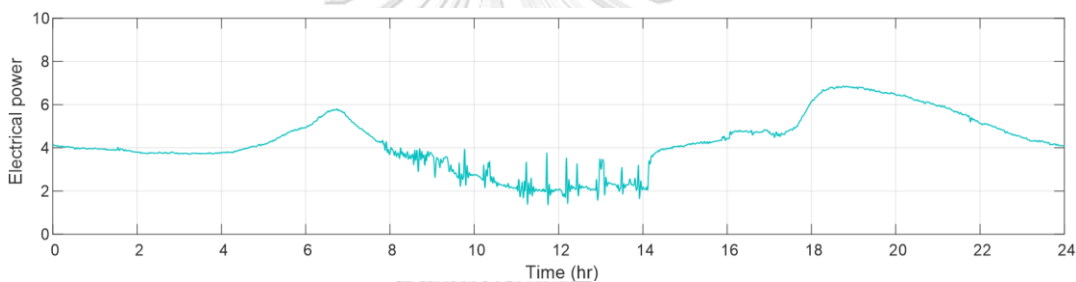
รูปที่ 6.171 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 3)



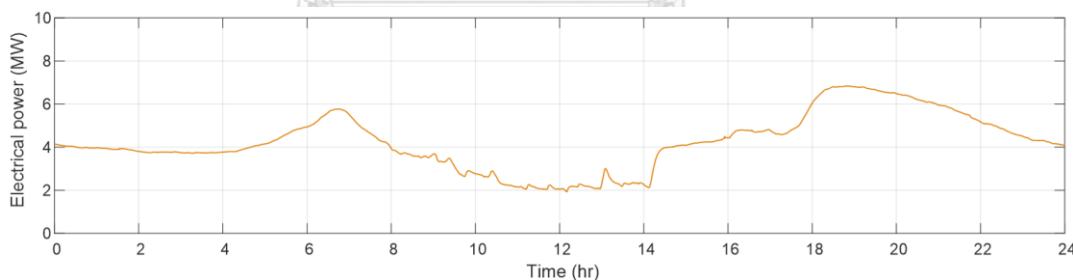
รูปที่ 6.172 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.1)



รูปที่ 6.173 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.2)



รูปที่ 6.174 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.3.1)



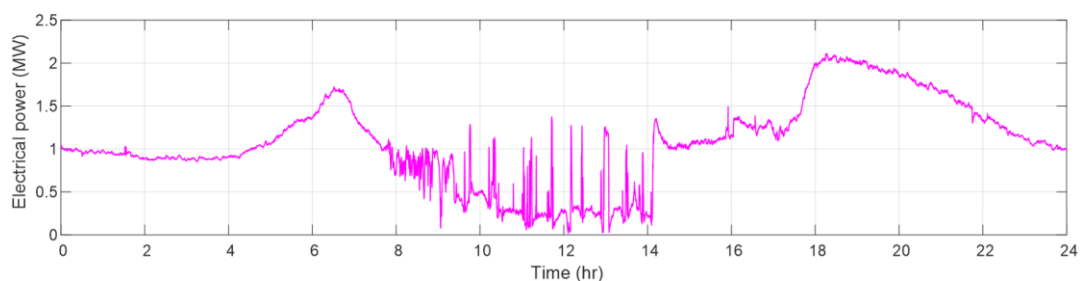
รูปที่ 6.175 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา 24 ชั่วโมง (กรณีศึกษาที่ 3.3.2)

#### 6.3.4.2 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) ในวันที่มีความผันผวนของไหลและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

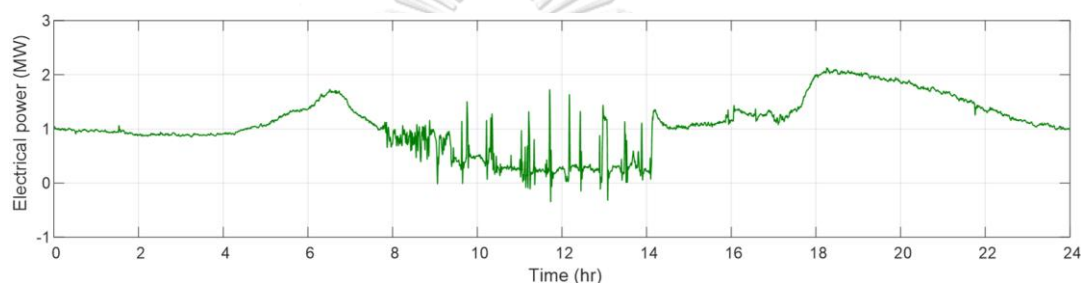
พฤติกรรมกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กได้รับผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากอยู่สายป้อนเดียวกันกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความผันผวนของกำลังผลิตสูง ดังรูปที่ 6.176 - รูปที่ 6.179 แต่การที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีการควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียบ



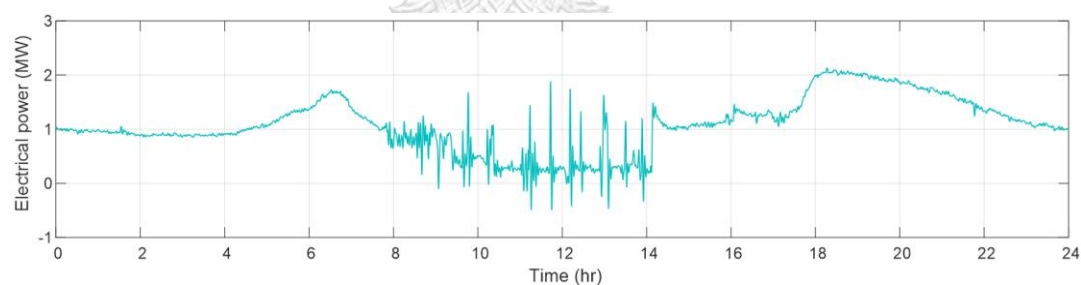
กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลทำให้กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) มีความผันผวนลดลง ดังรูปที่ 6.179



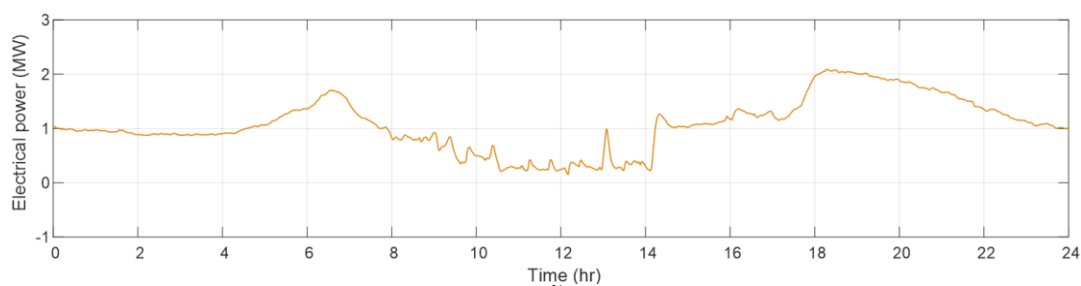
รูปที่ 6.176 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 3.1)



รูปที่ 6.177 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 3.2)



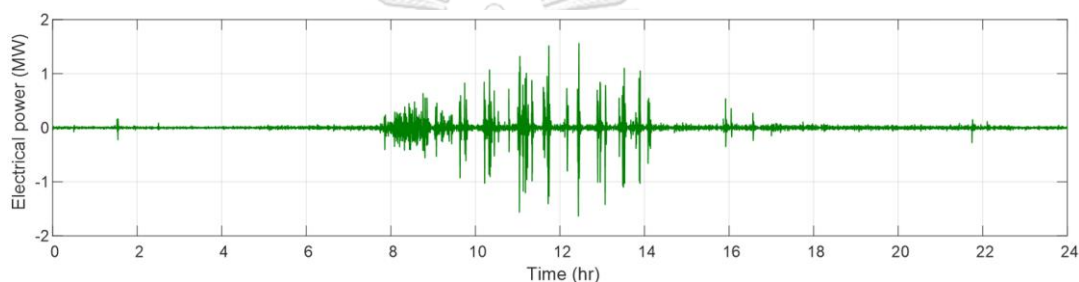
รูปที่ 6.178 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 3.3.1)



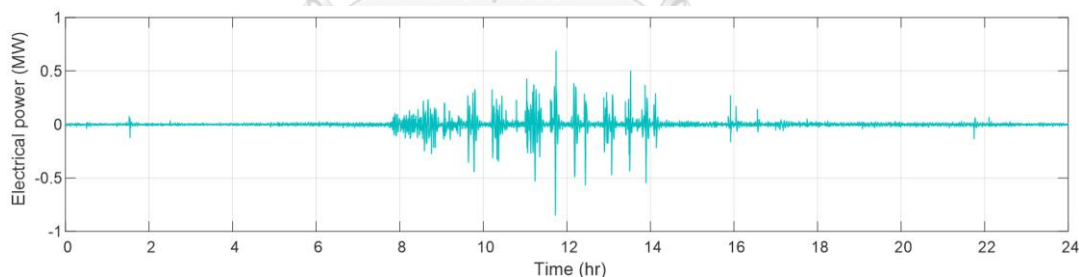
รูปที่ 6.179 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) 24 ชั่วโมง  
(กรณีที่ 3.3.2)

### 6.3.4.3 พฤติกรรมการทำงานของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

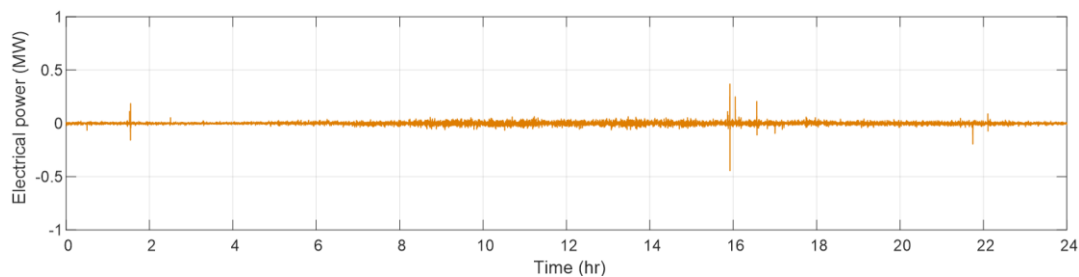
สำหรับโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสจะพบว่าในช่วงที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานจลน์สะสมในรูปแบบกำลังทางไฟฟ้าช่วยระบบได้ ดังรูปที่ 6.180 - รูปที่ 6.182 แต่การที่มีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพิ่มเข้ามาในระบบอาจจะส่งผลทำให้กำลังทางไฟฟ้าที่ต้องจ่ายออกมามีค่าลดลงได้ เนื่องจากอยู่บริเวณสายป้อนเดียวกัน รวมถึงเมื่อระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีการควบคุมความถี่ร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบเสมือนลดน้อยลงและการที่การเปลี่ยนแปลงความถี่น้อยลง



รูปที่ 6.180 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 3.2)



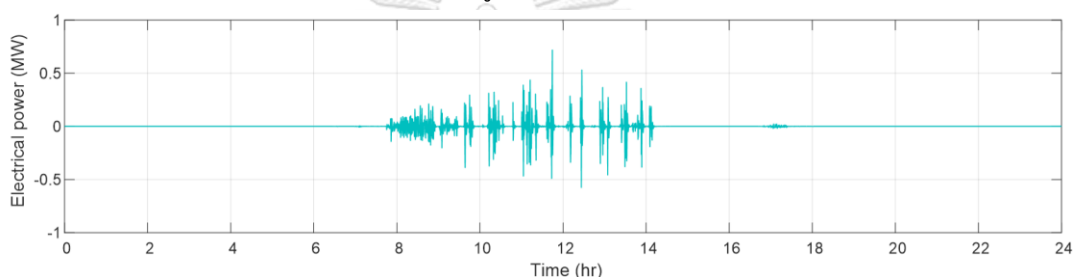
รูปที่ 6.181 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 3.3.1)



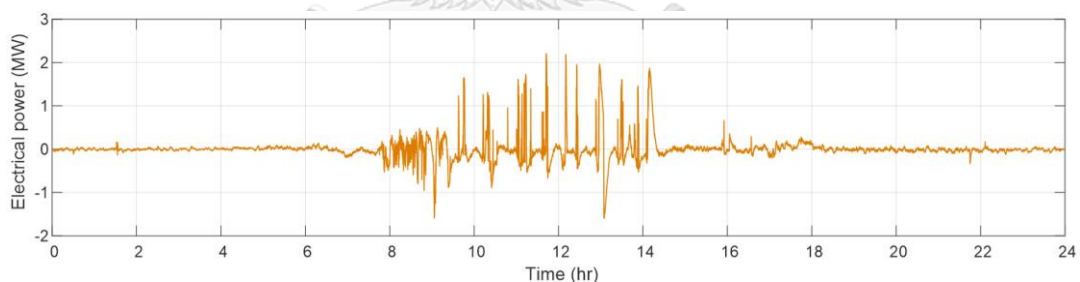
รูปที่ 6.182 กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 3.3.2)

#### 6.3.4.4 พฤติกรรมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือน ดังรูปที่ 6.183 จะมีพฤติกรรมการจ่ายกำลังผลิตในช่วงที่เกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สูง เนื่องจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลต่อความถี่ของระบบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เป็นอย่างมาก สามารถพิจารณาด้วยสมการการแกว่งได้ รวมถึงในการทำการควบคุมความถี่ของระบบในช่วงองค์ประกอบความถี่สูง ร่วมกับการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ระบบกักเก็บพลังงานจะจ่ายกำลังผลิตสูงกว่าการใช้ความเฉื่อยเสมือน ดังรูปที่ 6.184 เนื่องจากต้องทำการปรับเรียบกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความผันผวนสูง



รูปที่ 6.183 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง  
(กรณีศึกษาที่ 3.3.1)

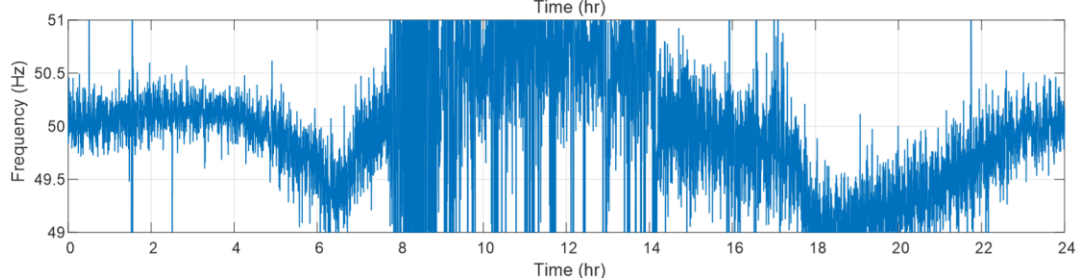
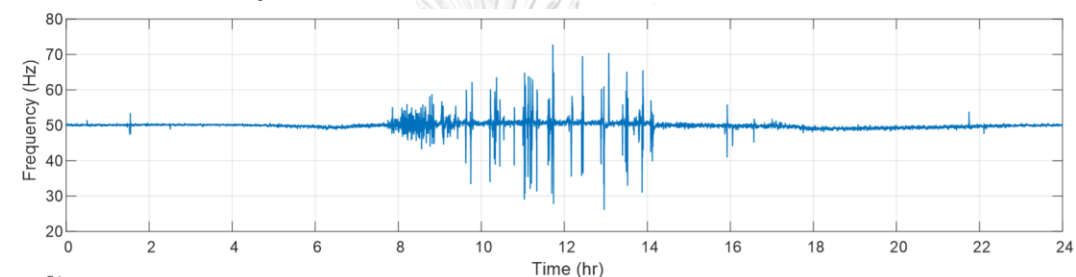


รูปที่ 6.184 กำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 24 ชั่วโมง  
(กรณีศึกษาที่ 3.3.2)

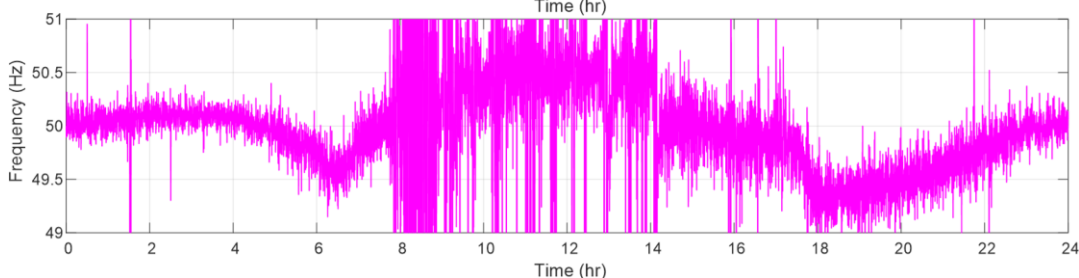
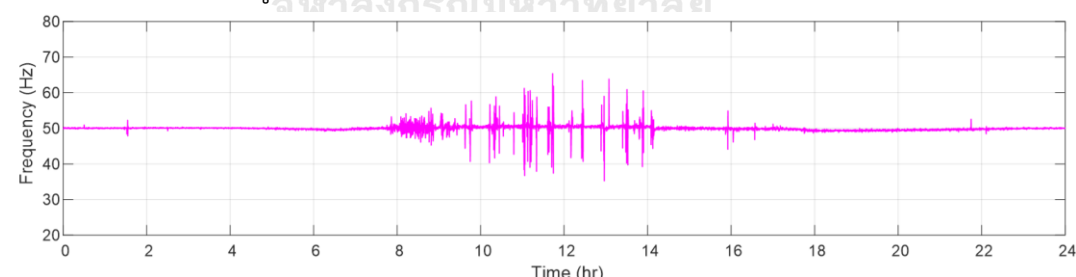
#### 6.3.4.5 ความถี่ของระบบ ในวันที่มีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีความเฉื่อยต่ำหรือมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลทำให้ความถี่ของระบบเบี่ยงเบนไปจากความถี่มาตรฐาน 50 เฮิรตซ์ เป็นอย่างมาก รวมถึงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 6.185 ซึ่งเมื่อความเฉื่อยในระบบเพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้า

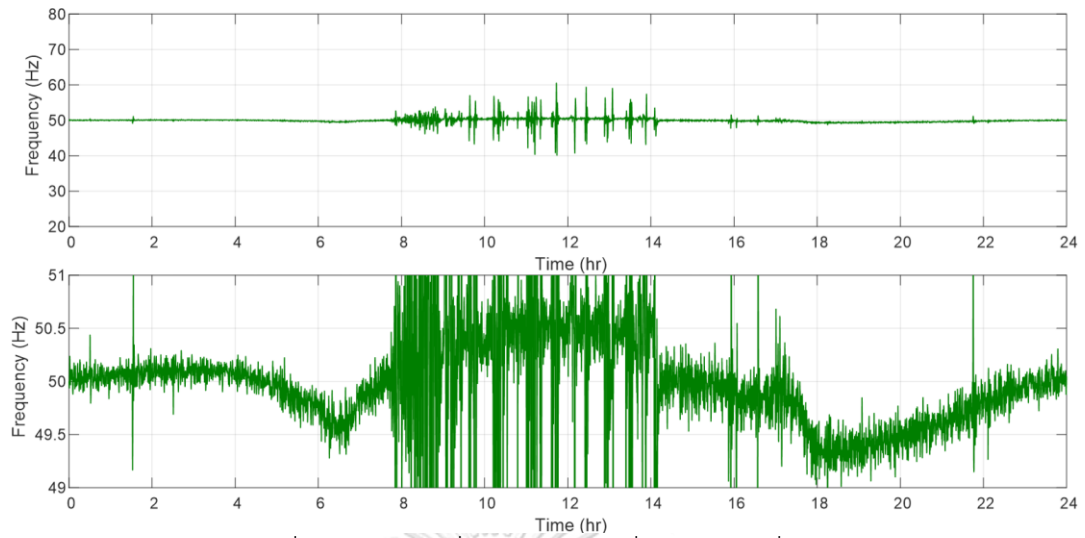
พลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส และระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนจะมีลักษณะความเบี่ยงเบนของความถี่ลดลง มีแนวโน้มที่เข้าใกล้เกณฑ์มาตรฐานมากขึ้น สังเกตได้จากความผันผวนที่ไวของความถี่มีขนาดที่ลดลง แต่ยังคงไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ดังรูปที่ 6.186 - รูปที่ 6.188 ซึ่งเราสามารถทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้โดยการให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีการควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 6.189 อย่างไรก็ตาม ความถี่ของระบบในระยะยาวจะยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเนื่องจากความผันผวนระยะยาวเป็นผลจากความผันผวนของไหลระยะยาวรวมถึงระบบมีเพียงการตอบสนองของความเฉื่อยและปฏิกิริยาเท่านั้น



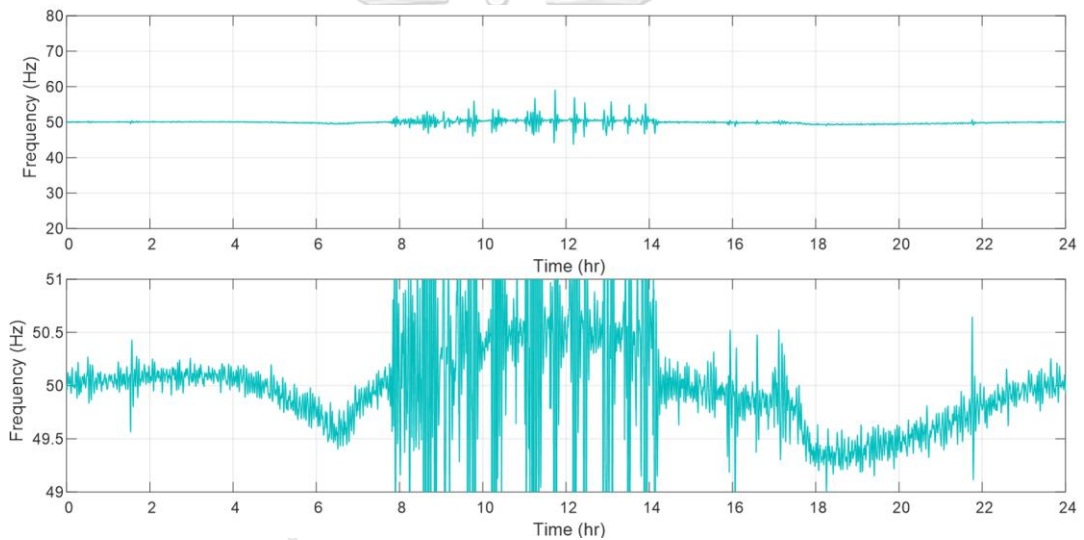
รูปที่ 6.185 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 3)



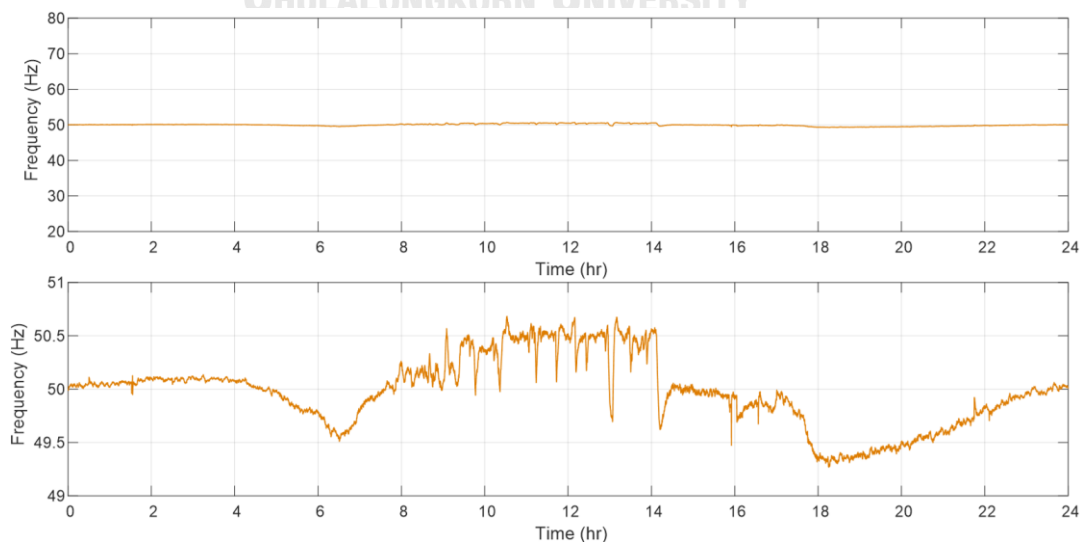
รูปที่ 6.186 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีที่ 3.1)



รูปที่ 6.187 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีนี้ที่ 3.2)



รูปที่ 6.188 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีนี้ที่ 3.3.1)



รูปที่ 6.189 ความถี่ของระบบ 24 ชั่วโมง (กรณีนี้ที่ 3.3.2)

## บทที่ 7

### สรุปผล

#### 7.1 สรุปผลการจำลองระบบ

##### 7.1.1 ผลของการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลด

จากการจำลองระบบที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ ที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบ ส่งผลให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่ 10.47 เฮิร์ตซ์ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ -2.13 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที การเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุซึ่งโครนัสช่วยทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้แรงบิดทางกลหรือกำลังทางกลสามารถเปลี่ยนแปลงตามแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางไฟฟ้าได้ทันมากขึ้นหรือกล่าวได้ว่าผลต่างระหว่างแรงบิดทางกลกับแรงบิดทางไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อความเฉื่อยในระบบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในด้านอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบลดลงเท่ากับ -1.47 และ -0.27 เฮิร์ตซ์ต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแล้วและตรงตามที่ได้วิเคราะห์ด้วยสมการการแกว่งของระบบ ส่วนความเบี่ยงเบนของความถี่มีแนวโน้มที่น้อยลง โดยมีค่าเท่ากับ 6.9 และ 3.46 เฮิร์ตซ์ตามลำดับ แต่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยความเฉื่อยเสมือนมาช่วยปรับลดความเบี่ยงเบนของความถี่ที่เกินเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตามความเฉื่อยเสมือนนี้ยังไม่สามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ได้มากพอ เนื่องจากช่วงที่ความถี่ต่ำสุด ผลของอนุพันธ์ของความถี่จะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะทำให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ไม่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมา ซึ่งหากให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงจะสามารถจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ได้ดีกว่า สามารถเปรียบเทียบผลการจำลองของระบบได้ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบผลการจำลองของระบบในกรณีความผันผวนของโหลด

	ความเบี่ยงเบนของความถี่ (เฮิรตซ์)	อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ (เฮิรตซ์ต่อวินาที)
MSN	10.47	-2.13
MSN + PB	6.9	-1.47
MSN + PB + SynCon	3.46	<u>-0.27</u>
MSN + PB + SynCon + BESS (Inertia)	2.50	
MSN + PB + SynCon + BESS (Frequency Regulation)	<u>0.47</u>	

หมายเหตุ : MSN คือ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงา  
 PB คือ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)  
 SynCon คือ โรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัส  
 BESS คือ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

### 7.1.2 ผลของการเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการจำลองระบบที่มีค่าคงที่ความถี่โดยรวมของระบบ 0.69 วินาที เมื่อเกิดความผันผวนของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ที่มีลักษณะแบบลาดเอียง โดยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าและมีความถี่ให้กับระบบส่งผลให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่ 41.37 เฮิรตซ์ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ -1.41 เฮิรตซ์ต่อวินาที การเพิ่มความถี่จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุเชิงโครนัสช่วยทำให้โมเมนต์ความถี่โดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 20.66 และ 10.8 เฮิรตซ์ ตามลำดับ รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบลดลงเท่ากับ -1.02 และ -0.0175 เฮิรตซ์ต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแล้วและตรงตามที่วิเคราะห์ด้วยสมการการแกว่งของระบบเช่นเดียวกับในความผันผวนของโหลด แต่ความเบี่ยงเบนของความถี่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่มาช่วยทำให้สามารถปรับความเบี่ยงเบนของความถี่ที่เกินเกณฑ์ให้กลับมามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ อย่างไรก็ตาม การที่ระบบกักเก็บ

พลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนไม่สามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบได้ เช่นเดียวกันกับโหลด สามารถเปรียบเทียบผลการจำลองของระบบได้ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบผลการจำลองของระบบในกรณีความผันผวนของกำลังผลิตของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

	ความเบี่ยงเบนของความถี่ (เฮิรตซ์)	อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ (เฮิรตซ์ต่อวินาที)
MSN	41.37	-1.41
MSN + PB	20.66	-1.02
MSN + PB + SynCon	10.8	<b>-0.175</b>
MSN + PB + SynCon + BESS (Inertia)	9.26	
MSN + PB + SynCon + BESS (Frequency Regulation)	<b>0.30</b>	

### 7.1.3 ผลของการเพิ่มเติมความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่เพื่อลดผลกระทบจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการจำลองระบบที่มีค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบ 0.69 วินาที เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด 0.7 เมกะวัตต์ และกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2.2 เมกะวัตต์ ที่มีลักษณะแบบขั้นบันไดและลาดเอียง ตามลำดับ โดยมีความผันผวนในลักษณะเสริมกันและมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเป็นแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าและมีความเฉื่อยให้กับระบบส่งผลให้เกิดความเบี่ยงเบนของความถี่ 42.29 เฮิรตซ์ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ -3.36 เฮิรตซ์ต่อวินาที ซึ่งมีค่าความเบี่ยงเบนของความถี่และอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่มากกว่าความผันผวนของโหลดหรือกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อย่างใดอย่างหนึ่ง เมื่อเพิ่มความเฉื่อยจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าดีเซลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุ ซึ่งโครนัสช่วยทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 25.86 และ 14.83 เฮิรตซ์ ตามลำดับ รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบลดลงเท่ากับ -2.33 และ -0.413 เฮิรตซ์ต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแล้วและตรงตามที่วิเคราะห์ด้วยสมการการแกว่งของระบบ แต่ความเบี่ยงเบนของความถี่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มี



ระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วย ทำให้สามารถปรับความเบี่ยงเบนของความถี่ที่เกินเกณฑ์ให้กลับมาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ อย่างไรก็ตาม การที่ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความเฉื่อยเสมือนไม่สามารถช่วยลดความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบได้ สามารถเปรียบเทียบผลการจำลองของระบบได้ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 เปรียบเทียบผลการจำลองของระบบในกรณีความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

	ความเบี่ยงเบนของความถี่ (เฮิรตซ์)	อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ (เฮิรตซ์ต่อวินาที)
MSN	42.29	-3.36
MSN + PB	25.86	-2.33
MSN + PB + SynCon	14.83	<b>-0.413</b>
MSN + PB + SynCon + BESS (Inertia)	8.30	
MSN + PB + SynCon + BESS (Frequency Regulation)	<b>0.49</b>	

## 7.2 บทสรุป

ในการวิเคราะห์ปัญหาความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ที่มีค่าความเฉื่อยในระดับวินาที การเลือกใช้ความละเอียดของข้อมูลมีผลต่อการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ชี้ให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดราย 10 วินาที แสดงให้เห็นปัญหาความเบี่ยงเบนของความถี่อันเนื่องมาจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีความเฉื่อยต่ำได้ดีกว่าข้อมูลที่มีความละเอียดราย 30 นาที ดังนั้น ในระบบที่มีความเฉื่อยต่ำในระดับวินาทีควรเลือกใช้ข้อมูลของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความละเอียดมาก โดยในปัจจุบันมีค่าความละเอียดสูงสุดอยู่ที่ 10 วินาที

นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ค่าคงที่ความเฉื่อยโดยรวมของระบบที่เหมาะสมต่อการลดผลกระทบที่เกิดจากความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยสมการการแกว่งของระบบ ทำให้เราทราบว่าในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมือง

แม่ฮ่องสอนในปัจจุบันถ้ามีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงามีค่าคงที่ความถี่โดยรวมไม่เพียงพอต่อการรักษาความเบี่ยงเบนของความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อเกิดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเติมความถี่จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) และโรงไฟฟ้าติเชลที่ปัจจุบันไม่ค่อยได้มีการใช้งาน นำมาประยุกต์ใช้ในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส ช่วยให้ความถี่ในระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่สามารถอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดและความเบี่ยงเบนของความถี่ลดลง แต่ความเบี่ยงเบนของความถี่นั้นอาจจะยังไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเราสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยการนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมความถี่ในช่วงองค์ประกอบความถี่สูงร่วมกับการปรับเรียงกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มาช่วยในการรักษาความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ไม่ต้องทำงานหนักจนเกินไป รวมถึงเราสามารถนำโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้อีกด้วย

อีกทั้งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงให้เห็นว่าการให้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีความถี่เหมือนและโรงไฟฟ้าติเชลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัสหรือการเพิ่มเติมความถี่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาความเบี่ยงเบนของความถี่ระบบให้ดีขึ้นได้ เนื่องจากในช่วงที่ความถี่ต่ำสุดอนุพันธ์ความถี่เท่ากับ 0 ส่งผลต่อการจ่ายกำลังทางไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และโรงไฟฟ้าติเชลที่เดินเครื่องในโหมดตัวเก็บประจุชิ่งโครนัส โดยจะไม่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาดังสมการการแกว่งหรือกล่าวได้ว่าความถี่นั้นจะไม่เข้ามาในช่วงของความถี่ต่ำเลย ทำให้ลักษณะขนาดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชิ่งโครนัสของโรงไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังออกมามีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงหรือเล็กลงเสมือนว่าแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางไฟฟ้ามีขนาดที่เท่าเดิม โดยภาระการจ่ายกำลังให้กับความผันผวนนี้จะเป็นไปตามลักษณะการทำงานของทรูปชั่วคราวในระบบควบคุมกักเก็บของโรงไฟฟ้าชิ่งโครนัสทั้งหมดที่จะขับแรงบิดทางกลให้เท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้า ซึ่งช่วงดังกล่าวจะเป็นจุดที่ความถี่ต่ำที่สุด ทั้งนี้หากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุมที่สามารถจ่ายกำลังทางไฟฟ้าออกมาเพื่อช่วยลดขนาดของความผันผวนที่โรงไฟฟ้าชิ่งโครนัสรับภาระนี้ได้ จะทำให้ทรูปชั่วคราวในระบบควบคุมกักเก็บสามารถขับแรงบิดทางกลให้เท่ากับแรงบิดทางไฟฟ้าหรือกำลังทางกลเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าได้ไวขึ้น ส่งผลให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ดีขึ้น เหมือนอย่างที่เป็นระบบมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง) เพิ่มเติมเข้ามาจากเดิมที่มีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแม่สะงาเท่านั้น

## บรรณานุกรม

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, โครงการนำร่องระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะจังหวัดแม่ฮ่องสอน. 2556.
2. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559. 2559.
3. Spahic, E., et al. *Impact of reduced system inertia on stable power system operation and an overview of possible solutions*. in 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). 2016.
4. Pedro P.Beires, et al., *The Need of Synchronous Inertia in Autonomous Power System with Increasing Shares of Renewables*. 3rd International Hybrid Power Systems Workshop, 2018.
5. Tielens, P. and D. Van Hertem, *The relevance of inertia in power systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 55: p. 999-1009.
6. Yamashita, K., et al. *A frequency-stabilizing scheme for integrating photovoltaics into a small island grid*. in 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies. 2011.
7. Kojima, T. and Y. Fukuma, *Microgrid System for Isolated Islands*. FUJI ELECTRIC JOURNAL, 2011. Vol.84(May/2011).
8. ศิริวัฒน์ เตชะพกาพงษ์, กรณีศึกษาการใช้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อลดผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เอกสารประกอบโครงการไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอน.
10. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, เอกสารข้อมูล "NAM MAE SA-NGA HYDRO-ELECTRIC CHANGWAT MAE HONG SON". 1985. Vol.4.
11. อธิชา วงศ์คำหล้า, โครงการวิศวกรรมไฟฟ้า "กรณีศึกษาการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของโครงข่ายไฟฟ้ากำลังของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนสำหรับการทำงานในโหมดไมโครกริด". คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.
12. P.KUNDER, *Power System Stability and Control* Mc-Graw-Hill, 1994.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาว สัจจพร ชิมะวงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	26 กันยายน 2537
สถานที่เกิด	จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	79/149 หมู่บ้านลภาวัน 9 ซอย 2 หมู่ 2 ถนนเลียบบคลองแอน ตำบลบางพลับ อำเภopakเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
ผลงานตีพิมพ์	บทความ "การวิเคราะห์ปัญหาความเสียหายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน" ในงานประชุมวิชาการ และนวัตกรรม กฟภ. ปี 2562 "PEA Digital Utility" ณ ศูนย์ประชุมวายุภักษ์ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ แจ้งวัฒนะ