

กรณีศึกษาการทำงานของโหมตแยกโดดในไมโครกริดแม่สะเรียงที่มีแหล่งผลิตแบบลูกผสมของ พืวี
ดีเซล และระบบแบตเตอรี่



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Case Study of an Islanding Mode Operation in Mae Sariang Microgrid with Hybrid
Generation Resources of PV, Diesel and BESS



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	กรณีศึกษาการทำงานของโหมตแยกโดดในไมโครกริดแม่สะ เรียงที่มีแหล่งผลิตแบบลูกผสมของ พีวี ดีเซล และระบบ แบตเตอรี่
โดย	นายจรัณวัศ รอดหลัก
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ สุวรรณกวิน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ สุวรรณกวิน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจารย์ หวังดี)

จรัณวัธ รอดหลัก : กรณีศึกษาการทำงานของโหมดแยกโดดในไมโครกริดแม่สะเรียงที่มีแหล่งผลิตแบบลูกผสมของ พีวี ดีเซล และระบบแบตเตอรี่. (A Case Study of an Islanding Mode Operation in Mae Sariang Microgrid with Hybrid Generation Resources of PV, Diesel and BESS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สุรพงศ์ สุวรรณภิน

โครงการไมโครกริดแม่สะเรียงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้มีการออกแบบให้มีโหมดการทำงานหลัก 3 โหมด ได้แก่ 1) โหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก 2) โหมดเปลี่ยนผ่าน และ 3) โหมดแยกโดด วิทยานิพนธ์นี้จะให้ความสำคัญในส่วนของการทำงานในโหมดแยกโดดใน 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1) การควบคุมระบบแบตเตอรี่ 2) การประสานการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่เพื่อรักษาความถี่ 3) ผลกระทบของระลอกคลื่นแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลต่อความถี่ของไมโครกริด วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ในลักษณะของแหล่งจ่ายแรงดันโดยใช้การควบคุมแบบดรู๊ป - ความเร็วที่จำลองค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่ทำงานในลักษณะเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส การประสานการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่ใช้การควบคุมแบบดรู๊ป - ความเร็ว การควบคุมความถี่โหลดใช้ในการควบคุมแบบหุติยภูมิเพื่อลดผลกระทบของโหลด และความผันผวนของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หลักปฏิบัติทั่วไปจะมีการทำงานของแถบไร้การตอบสนองของการควบคุมแบบหุติยภูมิ การควบคุมความถี่โหลดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ช่วยให้การแบ่งปันโหลดที่เหมาะสมระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถลดการทำงานของระบบแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับการใช้ระบบแบตเตอรี่เพียงลำพัง การตรวจสอบแนวคิดที่นำเสนอจะใช้การจำลองผ่านโปรแกรม DIGSILENT-Powerfactory โดยใช้ข้อมูลโหลดราย 10 วินาที จากกฟภ. และข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงสำหรับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 4 เมกะวัตต์ นอกจากนี้เพื่อพิจารณาผลกระทบของระลอกคลื่นแรงดันจะใช้ข้อมูลจริงของการกระเพื่อมของแรงดันจากเครื่องยนต์ดีเซล 12 กระบอกสูบ เพื่อลดผลของระลอกคลื่นแรงดันนี้จะอาศัยการทำงานของวงจรกรองผ่านช่วงความถี่เพื่อตรวจจับระลอกคลื่นแรงดันที่เกิดขึ้นไปป้อนเป็นสัญญาณให้ระบบแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าชดเชย ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมที่นำเสนอสามารถรองรับการทำงานของไมโครกริดในโหมดแยกโดดได้สำเร็จ ความถี่และแรงดันไฟฟ้าของไมโครกริดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่ กฟภ. กำหนด และผลการจำลองการใช้ระบบแบตเตอรี่ร่วมกับวงจรกรองผ่านช่วงความถี่สามารถลดผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงดันให้อยู่ภายใต้แถบไร้การตอบสนองของการควบคุมแบบหุติยภูมิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170350921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: MICROGRID, BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM, ISLANDING MODE, HYBRID GENERATION,
VIRTUAL SYNCHRONOUS GENERATOR, DIESEL GENERATOR, TORQUE RIPPLE

Jarunawat Rodluk : A Case Study of an Islanding Mode Operation in Mae Sariang Microgrid with Hybrid Generation Resources of PV, Diesel and BESS. Advisor: Assoc. Prof. SURAPONG SUWANKAWIN, Ph.D.

The Mae Sariang Microgrid Project of the Provincial Electricity Authority (PEA) is designed with 3 main modes of operation: 1) grid-connected mode 2) transition mode and 3) Islanding mode. This thesis focuses on the operation in islanding mode with 3 major issues: 1) control of Battery Energy Storage System (BESS), 2) frequency regulation by coordination between diesel generator and BESS, 3) effect of torque ripple from diesel generator on frequency of microgrid. This thesis uses a converter as a voltage source, a frequency-droop characteristic is conducted, and the mechanical inertia with field exciter are emulated to enable BESS to perform as a synchronous generator. The coordination between diesel generator and BESS is achieved in the primary control portion by the frequency-droop characteristics. Load Frequency Control (LFC) is used in the secondary control to mitigate the effects of the dynamics of load and fluctuation of solar power source. According to the real-world practice, the dead-band is also provided for the LFC. Additionally, the LFC used in this thesis can facilitate the proper load sharing among diesel generator and BESS, which can reduce the operating cycle of BESS in comparison to using BESS alone. The validation of proposed concept is verified by the simulation with DigSILENT-Power factory program. The islanding mode is evaluated with 10-sec sampling load data of Mae Sariang power grid, this real data is exported from the SCADA system of PEA. Besides the load data, the light intensity data from the nearby area is used for the power generation of the 4 MW solar farm. In addition, to investigate the effects of torque ripple, the real data of torque ripple is taken into account in the shaft torque of 12-cylinders diesel engine. To mitigate this torque ripple, the regarding power is detected by a band-pass filter, and used as the added power command for BESS. The simulation results demonstrate that the proposed control method can successfully support the operation of microgrid in islanding mode; both frequency and voltage of microgrid and well regulated and complied with the PEA's grid code. Furthermore, the effect of torque ripple can be alleviated and consequently the fluctuation of frequency is attenuation to be within the deadband of secondary control.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ สุวรรณกวิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งสละเวลาอันมีค่าของท่าน กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นทั้งที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์และการใช้ชีวิตตลอดช่วงที่ เข้ารับการศึกษาระดับมหาบัณฑิตที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรณเจตพงศ์ชัย และ รองศาสตราจารย์ ดร.วิจารณ์ หวังดี ที่ได้เสียสละเวลาในการร่วมพิจารณาการสอบ ตรวจสอบแก้ไข และเอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาคที่ได้อนุเคราะห์เงินทุนสนับสนุนการศึกษาและข้อมูลสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณนายธนภุต กิตติวรารัตน์ที่ช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย ตลอดจนเพื่อนนิสิตระดับมหาบัณฑิตห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและ เป็นกำลังใจให้กันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่สำคัญ และให้การสนับสนุนการศึกษาและการทำวิจัยในทุกด้านมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษาระดับ มหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จรัณวิศ รอดหลัก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 โครงการไมโครกริดกระแสสลับ.....	2
1.2.1 โครงการไมโครกริดกระแสสลับในต่างประเทศ.....	3
1.2.2 โครงการไมโครกริดกระแสสลับในประเทศไทย.....	5
1.3 วิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่กับโหมดการทำงานของ ไมโครกริดกระแสสลับ.....	8
1.3.1 โหมดเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลัก (Grid-Connected Mode).....	8
1.3.2 โหมดเปลี่ยนผ่าน (Transition Mode).....	8
1.3.3 โหมดแยกโดด (Islanding Mode).....	8
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
1.5 สรุปปัญหาและข้อจำกัดในงานวิจัยที่ผ่านมา.....	11
1.6 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	12
1.7 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	12
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12

1.9	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	12
บทที่ 2	ข้อมูลทั่วไปและระบบไฟฟ้าของอำเภอแม่สะเรียง	13
2.1	ข้อมูลทั่วไปของอำเภอแม่สะเรียง.....	13
2.2	การจ่ายไฟฟ้าในไมโครกริดแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	14
2.3	ข้อมูลโหลดและแหล่งผลิตไฟฟ้าในอำเภอแม่สะเรียงจังหวัดแม่ฮ่องสอน	16
2.3.1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	17
2.3.2	โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียง.....	17
บทที่ 3	การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่.....	18
3.1	การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	18
3.1.1	การควบคุมแบบไอโซโครนัส.....	18
3.1.2	การควบคุมแบบรูปความเร็ว	19
3.2	แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	19
3.2.1	รายละเอียดทางกายภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	19
3.2.2	แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT)..	20
3.2.3	แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักร (Governor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT).....	20
3.2.4	แบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT)	22
3.2.5	การจำลองการทำงานของส่วนควบคุมปฐมภูมิ (Primary Control) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	23
3.2.6	การจำลองการทำงานของตัวควบคุมปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อมีการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	25
3.3	การควบคุมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	27
3.3.1	ส่วนควบคุมหลัก (Main Control Part)	29
3.3.1.1	การควบคุมค่ากำลังจริง (Real Power Control).....	29

3.3.1.1.1	พลวัตของการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบไอโซโครนัส (Isochronous)	29
3.3.1.1.2	พลวัตของการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบรูปความเร็ว (Speed Droop Characteristic of Synchronous Generator)	29
3.3.1.1.3	โหลดอ้างอิง (Load Reference).....	31
3.3.1.2	การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Control)	32
3.3.1.2.1	แบบจำลองทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	32
3.3.1.2.2	การควบคุมแรงดันด้วยตัวควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator; AVR) และตัวกระตุ้น (Exciter)	33
3.3.1.3	การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ให้มีลักษณะสมบัติเสมือนการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	33
3.3.1.4	การควบคุมแบบประสานงานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	34
3.3.2	ส่วนควบคุมรอง.....	34
3.4	การควบคุมทุติยภูมิ (Secondary control).....	35
3.4.1	หลักการของการควบคุมความถี่โหลด.....	35
3.4.2	แนวทางการออกแบบการควบคุมความถี่โหลด.....	36
3.4.3	แบบจำลองการควบคุมทุติยภูมิ.....	38
3.4.4	การจำลองการควบคุมทุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	41
3.5	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อพิจารณาผลของระลอกแรงบิดจากการทำงานของกระบอกสูบ	43
3.6	แบบจำลองของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เมื่อเพิ่มวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter).....	46
บทที่ 4	ผลการจำลองการทำงานในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง.....	48

4.1 กรณีศึกษาในช่วงเวลาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดภายในระบบมากที่สุด 50

4.2 กรณีศึกษาช่วงเวลาที่เกิดความผันผวนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด..... 52

4.3 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการทำงานประสานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลกับระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรี..... 54

4.4 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยไม่มีการทำงานของการควบคุมหัตถิยภูมิ 58

4.5 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมหัตถิยภูมิ 60

4.6 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding) 62

4.7 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยเพิ่มค่าคงตัวเวลาของระบบแบบเตอรีในการควบคุมแบบหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding) 65

4.8 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของระบบแบบเตอรีในการควบคุมแบบหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding) 67

4.9 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในการควบคุมแบบหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding) 69

4.10 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานในการควบคุมแบบหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding) 71

4.11	กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบพหุติยภูมิที่พิจารณาผลของแถบไร้การตอบสนอง (Deadband) และพิจารณาการปลดโหลดที่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding).....	73
4.12	สรุปผลการจำลองการทำงานในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง.....	75
บทที่ 5	ผลการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงเมื่อพิจารณาผลของระลอกแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	76
5.1	กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการปรับแต่งความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	76
5.1.1	กรณีศึกษาเมื่อใช้พารามิเตอร์เดิม.....	77
5.1.2	กรณีศึกษาเมื่อเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บแบตเตอรี่ 10 เท่า.....	77
5.1.3	กรณีศึกษาเมื่อเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บระบบแบตเตอรี่ 100 เท่า... ..	78
5.1.4	กรณีศึกษาเมื่อลดค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 10 เท่า... ..	78
5.1.5	กรณีศึกษาเมื่อลดค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 100 เท่า	79
5.2	กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter).....	79
5.2.1	กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 0.5.....	80
5.2.2	กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 1.....	80
5.2.3	กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 1.5.....	81
5.3	กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการปรับแต่งความเฉื่อยเสมือนร่วมกับการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter).....	81
5.4	กรณีศึกษาเมื่อมีความผันผวนจากโหลด พีวี และระลอกคลื่นแรงบิด.....	82

5.5 กรณีศึกษาเมื่อมีความผันผวนจากโหลด พีวี และระลอกคลื่นแรงบิดโดยพิจารณาการชดเชย
 ความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบของระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรี (Band pass filter)
 85

บทที่ 6 บทสรุป 88

บรรณานุกรม..... 89

ประวัติผู้เขียน..... 100



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 กำลังผลิตติดตั้งของแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในอำเภอแม่สะเรียง.....	16
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองของตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักรดีเซล.....	21
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	23
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter).....	47
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการควบคุมความถี่แบบทฤษฎีในกรณีศึกษาที่ 5 – 11.....	49
ตารางที่ 4.2 ค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดในแต่ละกรณีศึกษา	75
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ความระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่กรณีศึกษาที่ 5.1.1 – 5.1.5.....	76
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) กรณีศึกษาที่ 5.2.1 – 5.2.3.....	79

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 พื้นที่ครอบคลุมของไมโครแม่สะเรียง [1].....	6
รูปที่ 1.2 ไมโครกริดแม่สะเรียง เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าผ่านระบบ 115 kV.....	7
รูปที่ 1.3 ไมโครกริดอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	7
รูปที่ 2.1 แผนที่อำเภอแม่สะเรียง.....	13
รูปที่ 2.2 การจ่ายไฟฟ้าในปัจจุบันของอำเภอแม่สะเรียง.....	14
รูปที่ 2.3 แผนภาพเส้นเดียวของไมโครกริดในโหมดแยกโดด	15
รูปที่ 2.4 แผนภาพค่าประมาณโหลดราย 10 วินาที ณ วันที่ 18 มิถุนายน 2562	16
รูปที่ 2.5 ข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียงขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 4 เมกะวัตต์ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้.....	17
รูปที่ 3.1 คุณลักษณะการทำงานการควบคุมแบบไอโซโครนัส	18
รูปที่ 3.2 คุณลักษณะการทำงานของดรอปความเร็วในอุดมคติ [16].....	19
รูปที่ 3.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [30].....	20
รูปที่ 3.4 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [32]	21
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [32].....	22
รูปที่ 3.6 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการทำงานของตัวควบคุมป้อนภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	24
รูปที่ 3.7 โหลดในระบบไฟฟ้าที่ใช้จำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	24
รูปที่ 3.8 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	24
รูปที่ 3.9 ความถี่ไฟฟ้าของการจำลองการทำงานของตัวควบคุมป้อนภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	24
รูปที่ 3.10 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการทำงานเมื่อมีการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	25
รูปที่ 3.11 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแต่ละเครื่องเมื่อต่อขนานในระบบ	26
รูปที่ 3.12 ความถี่ไฟฟ้าของการจำลองการทำงานการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	26

รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงจุดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	27
รูปที่ 3.14 การควบคุมคอนเวอร์เตอร์สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	28
รูปที่ 3.15 การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบไอโซโครนัส [16]	29
รูปที่ 3.16 ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบดรูปรูปรเร็ว [16].....	30
รูปที่ 3.17 กราฟคุณลักษณะดรูปรูปรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสในสภาวะคงตัว	30
รูปที่ 3.18 ลักษณะสมบัติของดรูปรูปรเร็วเมื่อมีการกำหนดค่าโหลดอ้างอิง.....	31
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การควบคุมกำลังจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ใช้การควบคุมแบบดรูปรูปรเร็วและลักษณะความเฉื่อยทางกล	32
รูปที่ 3.20 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	32
รูปที่ 3.21 วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	33
รูปที่ 3.22 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	33
รูปที่ 3.23 การควบคุมแรงดันและความถี่ไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	34
รูปที่ 3.24 ส่วนควบคุมรองสำหรับระบบควบคุมการรีซิงโครไนซ์ไมโครกริด	35
รูปที่ 3.25 การควบคุมแบบทฤษฎีภูมิโดยการควบคุมความถี่โหลดด้วยตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	37
รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองของควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	37
รูปที่ 3.27 ภาพรวมจุดการทำงานการควบคุมความถี่โหลดด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	38
รูปที่ 3.28 แบบจำลองการควบคุมทฤษฎีภูมิ.....	39
รูปที่ 3.29 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ดัดแปลงสำหรับรองรับการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิ	40
รูปที่ 3.30 แบบจำลองการควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่รองรับการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิ.....	40
รูปที่ 3.31 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่	41

รูปที่ 3.32 กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด เมื่อจำลองการควบคุมหุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	42
รูปที่ 3.33 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เมื่อจำลองการควบคุมหุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่	42
รูปที่ 3.34 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เมื่อจำลองการควบคุมหุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่.....	42
รูปที่ 3.35 ความถี่ไฟฟ้า เมื่อจำลองการควบคุมหุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่	42
รูปที่ 3.36 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ดัดแปลงสำหรับรองรับการควบคุมแบบหุติยภูมิ และพิจารณาผลระลอกแรงบิด	43
รูปที่ 3.37 แรงบิดที่เกิดจากการทำงานของกระบอกสูบ [29]	44
รูปที่ 3.38 สัญญาณระลอกคลื่นแรงบิดเมื่อเทียบกับเวลา.....	44
รูปที่ 3.39 แรงบิดของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อพิจารณาการเกิดระลอกคลื่น	45
รูปที่ 3.40 กำลังไฟฟ้าที่ไปป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	45
รูปที่ 3.41 กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	45
รูปที่ 3.42 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล.....	45
รูปที่ 3.43 แบบจำลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เมื่อเพิ่มสัญญาณควบคุมหุติยภูมิ.....	46
รูปที่ 3.44 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรรองความถี่ผ่านแถบที่ใช้ในวิทยานพยนตร์.....	47
รูปที่ 4.1 แบบจำลองไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดด.....	50
รูปที่ 4.2 โหลดรวมของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1	51
รูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1	51
รูปที่ 4.4 ความถี่ไฟฟ้าของระบบในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1.....	51
รูปที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าของ Bus MAA1 ในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1.....	52
รูปที่ 4.6 โหลดรวมของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2.....	53

รูปที่ 4.7	กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2	53
รูปที่ 4.8	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2	53
รูปที่ 4.9	ความถี่ไฟฟ้าของระบบในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2	54
รูปที่ 4.10	แรงดันไฟฟ้า Bus MAA1 ในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2	54
รูปที่ 4.11	ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการประสานงานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบดรู๊ป	55
รูปที่ 4.12	แผนภาพแสดงจุดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่	56
รูปที่ 4.13	กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด กรณีศึกษาที่ 3	56
รูปที่ 4.14	กำลังไฟฟ้าจริงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลตัวที่ 1 กรณีศึกษาที่ 3	56
รูปที่ 4.15	กำลังไฟฟ้าจริงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลตัวที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3	57
รูปที่ 4.16	กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาที่ 3	57
รูปที่ 4.17	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 3	57
รูปที่ 4.18	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 3	57
รูปที่ 4.19	กำลังไฟฟ้าจริงของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563	58
รูปที่ 4.20	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563	58
รูปที่ 4.21	กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ภายในไมโครกริดแม่สะเรียง	59
รูปที่ 4.22	กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 4	59
รูปที่ 4.23	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 4	59
รูปที่ 4.24	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 4	59
รูปที่ 4.25	แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 4	60
รูปที่ 4.26	กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 5	61
รูปที่ 4.27	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5	61
รูปที่ 4.28	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5	61
รูปที่ 4.29	แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 5	61

รูปที่ 4.30 กำลังไฟฟ้าจริงของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563 เมื่อทำการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกให้เพียงพอต่อการทำงานในโหมดแยกโดดแบบต่อเนื่อง	63
รูปที่ 4.31 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563 เมื่อทำการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกให้เพียงพอต่อการทำงานในโหมดแยกโดดแบบต่อเนื่อง.....	63
รูปที่ 4.32 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 6.....	64
รูปที่ 4.33 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 6	64
รูปที่ 4.34 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 6	64
รูปที่ 4.35 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 6	64
รูปที่ 4.36 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 7.....	66
รูปที่ 4.37 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 7	66
รูปที่ 4.38 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 7	66
รูปที่ 4.39 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 7	66
รูปที่ 4.40 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 8.....	68
รูปที่ 4.41 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 8	68
รูปที่ 4.42 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 8	68
รูปที่ 4.43 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 8.....	68
รูปที่ 4.44 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 9.....	70
รูปที่ 4.45 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 9	70
รูปที่ 4.46 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 9	70
รูปที่ 4.47 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 9	70
รูปที่ 4.48 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 10.....	72
รูปที่ 4.49 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 10	72
รูปที่ 4.50 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 10	72
รูปที่ 4.51 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 10.....	72

รูปที่ 4.52	กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง ภาณศศษษาที่ 11.....	74
รูปที่ 4.53	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ภาณศศษษาที่ 11.....	74
รูปที่ 4.54	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 11.....	74
รูปที่ 4.55	แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง ภาณศศษษาที่ 11.....	74
รูปที่ 5.1	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.1.1.....	77
รูปที่ 5.2	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.1.2.....	77
รูปที่ 5.3	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.1.3.....	78
รูปที่ 5.4	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.1.4.....	78
รูปที่ 5.5	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.1.5.....	79
รูปที่ 5.6	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.2.1.....	80
รูปที่ 5.7	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.2.2.....	80
รูปที่ 5.8	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.2.3.....	81
รูปที่ 5.9	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.3.....	81
รูปที่ 5.10	กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดในภาณศศษษาที่ 5.4 – 5.5.....	82
รูปที่ 5.11	กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ภาณศศษษาที่ 5.4 – 5.5.....	82
รูปที่ 5.12	กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง ภาณศศษษาที่ 5.4.....	83
รูปที่ 5.13	กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ภาณศศษษาที่ 5.4.....	83
รูปที่ 5.14	ความถี่ไฟฟ้าของระบบ ภาณศศษษาที่ 5.4.....	83
รูปที่ 5.15	แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง ภาณศศษษาที่ 5.4.....	83
รูปที่ 5.16	ความถี่ไฟฟ้าเบียงเบนสำหรับคำสั่งการควบคุมความถี่โหลด ภาณศศษษาที่ 5.4.....	84
รูปที่ 5.17	ความถี่ไฟฟ้าเบียงเบนหลังจากผ่านแถบไร้การตอบสนอง ภาณศศษษาที่ 5.4.....	84
รูปที่ 5.18	สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ภาณศศษษาที่ 5.4.....	84
รูปที่ 5.19	สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของระบบแบตเตอรี่ ภาณศศษษาที่ 5.4.....	84
รูปที่ 5.20	กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง ภาณศศษษาที่ 5.5.....	85

รูปที่ 5.21 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5.5..... 86

รูปที่ 5.22 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.5 86

รูปที่ 5.23 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 5.5..... 86

รูปที่ 5.24 ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสำหรับคำสั่งการควบคุมความถี่โหลด กรณีที่ 5.4 86

รูปที่ 5.25 ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสำหรับคำสั่งการควบคุมความถี่โหลด กรณีที่ 5.5 87

รูปที่ 5.26 สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล กรณีศึกษาที่ 5.5 87

รูปที่ 5.27 สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของระบบแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5.5 87



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ตามที่มีการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีแผนการพัฒนาโครงข่ายระบบไฟฟ้าให้สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ และสังคมตามแผนพัฒนาที่ 11 โดยวัตถุประสงค์ของแผนพัฒนานี้คือการพัฒนาโครงข่ายระบบไฟฟ้าให้มีความปลอดภัย ให้เพียงพอต่อความต้องการตามมาตรฐานคุณภาพการบริการ นอกจากนี้ยังพัฒนาโครงข่ายระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว และแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบหมุนเวียนรวมถึงเทคโนโลยีการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในอนาคต กฟภ.ได้ระบุถึงการพัฒนาไมโครกริดที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ดังแสดงในเอกสาร [1] เป็นโครงการหนึ่งในการพัฒนาโครงข่ายระบบไฟฟ้าให้เป็นระบบไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟภ. ภายใน 15 ปี โดยมีแผนจะปรับปรุงความน่าเชื่อถือและคุณภาพของระบบไฟฟ้า โดยโครงข่ายระบบไฟฟ้าปัจจุบันของอำเภอแม่สะเรียงมีปัญหาต่าง ๆ ได้แก่

- การสูญเสียของกำลังไฟฟ้าเนื่องจากระบบจำหน่ายที่มีระยะทางไกลคิดเป็น 19 % หรือประมาณ 6.7 กิกะวัตต์ - ชั่วโมง
- จำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับมากกว่า 20 ครั้งต่อปี ที่เกิดจากอุปกรณ์เสียหาย การบำรุงรักษาหรือสภาพอากาศ
- ในช่วงที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในพื้นที่จะต้องทำงานเพื่อช่วยรองรับแรงดันไฟฟ้าในพื้นที่
- โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าได้บางกรณี เช่น เกิดปัญหาแรงดันตก, เกิดปัญหาแรงดันเกิน หรือแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- การดำเนินการขึ้นกับผู้ให้บริการในพื้นที่เนื่องจากความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ควบคุมในระบบ SCADA ซึ่งบางครั้งเกิดแบตเตอรี่ต่ำหรือสูญเสียการสื่อสาร ดังนั้นเมื่อเกิดการขัดข้องจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที เพื่อเชื่อมต่อ และตัดการเชื่อมต่ออุปกรณ์ก่อนที่จะเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

โดยโครงการไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ของ กฟภ. ซึ่งเป็นระบบไมโครกริดที่ประกอบไปด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ, โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบควบคุม, ระบบแบตเตอรี่ และโหลด ไมโครกริดมีการทำงาน 3 โหมดการทำงาน ได้แก่ 1) โหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Grid-Connected mode) 2) ช่วงเปลี่ยนโหมดการทำงานจากเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักไปเป็นโหมดแยกโดด (Transition from Grid-Connected to Islanding) หรือช่วงเปลี่ยนโหมดการทำงานจากโหมดแยกโดดเป็นโหมดเชื่อมต่อกับ

ระบบไฟฟ้าหลัก (Transition from Islanding to Grid-Connected) และ 3) โหมดแยกโดด (Islanding mode) ซึ่งจะแยกตัวเป็นอิสระจากระบบไฟฟ้าหลัก โดยในการทำงานในโหมดแยกโดด แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวภายในไมโครกริด (Distributed Energy Resources, DERs) และ/หรือจากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System, BESS) จะต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดภายในระบบเองได้เพียงพอ หรืออาจต้องมีการพิจารณาตัดโหลดภายในระบบที่มีความสำคัญน้อยออกจากระบบไฟฟ้าหากแหล่งผลิตไฟฟ้าภายในไมโครกริดมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด

ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดผ่านอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงสามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง หรือกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ สำหรับการออกแบบระบบควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์มีข้อจำกัดมากมาย เช่น ผลกระทบของความเฉื่อยต่อความถี่เสถียรภาพของไมโครกริด [2], ผลกระทบของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในไมโครกริดที่มีความเฉื่อยต่ำ [3], การสร้างความสมดุลระหว่างของไหลในไมโครกริดในโหมดการทำงานแยกโดด [4]

งานวิจัยนี้จะพิจารณาการศึกษาการทำงานของไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียงในโหมดแยกโดด โดยพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความผันผวนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งยังขาดการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าในโหมดการทำงานแบบแยกโดด งานวิจัยนี้อาศัยการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โดยพิจารณาผลของคุณภาพไฟฟ้าของระบบไมโครกริดในโหมดการทำงานแยกโดดจะต้องคำนึงถึงคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้าของไมโครกริดจะขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตไฟฟ้าภายในไมโครกริด ซึ่งไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียงประกอบไปด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้า 4 ชนิดได้แก่ 1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ 3) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และ 4) ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โดยธรรมชาติแล้วโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะเกิดความผันผวนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของแสงแดด ดังนั้นการศึกษาระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ให้ทำงานร่วมกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพื่อช่วยชดเชยความผันผวนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อคุณภาพไฟฟ้า เพื่อให้ระบบมีคุณภาพไฟฟ้าที่ดีขึ้น

1.2 โครงการไมโครกริดกระแสลับ

ไมโครกริดคือระบบไฟฟ้าที่จำกัดวงภายในพื้นที่ที่สามารถตัดการเชื่อมต่อจากระบบไฟฟ้าหลักเพื่อทำงานภายในไมโครกริดเองได้ เพราะไมโครกริดสามารถทำงานในขณะที่เกิดปัญหาที่ระบบไฟฟ้าหลัก ไมโครกริดสามารถเสริมสร้างความยืดหยุ่น และสามารถเป็นตัวช่วยในการตอบสนองในการจัดตั้งโครงข่ายระบบไฟฟ้าได้รวดเร็วซึ่งถูกอ้างไว้ใน [5] หรือนิยามของทาง CIGRE C6.22 [6] ได้กล่าวไว้ว่า ไมโครกริดคือกลุ่มของโหลดที่เชื่อมต่อระหว่างกัน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ภายในขอบเขตระบบไฟฟ้าที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน โดยมีจุดควบคุมที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักเพียงจุดเดียว ไมโครกริดสามารถเชื่อมต่อและตัดการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักเพื่อให้สามารถทำงานได้ทั้งในโหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก และโหมดแยกโดด การทำงานในโหมดแยกโดดนั้นระบบแบตเตอรี่จะมีส่วนช่วยในการควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดจากปัญหาความไม่แน่นอนของแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม

1.2.1 โครงการไมโครกริดกระแสสลับในต่างประเทศ

โครงการไมโครกริดในต่างประเทศส่วนใหญ่นั้นจะมุ่งเน้นไปที่การเชื่อมต่อของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และการควบคุมในส่วนของการทำงานในโหมดต่าง ๆ ของไมโครกริดแบบอัตโนมัติเพื่อให้ระบบของไมโครกริดมีความยืดหยุ่นในการทำงาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะมุ่งเน้นในส่วนของการควบคุม และระบบสื่อสารให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้าและหน่วยงานที่กำกับดูแลระบบไฟฟ้า ตัวอย่างโครงการไมโครกริดต่าง ๆ ได้แก่

โครงการไมโครกริดในประเทศสหรัฐอเมริกา

ไมโครกริดกลายเป็นที่นิยมในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากการสนับสนุนจากรัฐบาลกลาง และรัฐบาลท้องถิ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและสาธิตเทคโนโลยี เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ระบบกักเก็บพลังงาน การควบคุมการทำงานของไมโครกริด การสาธิตระบบไมโครกริดในเชิงพาณิชย์ โดยเน้นการควบคุมแบบแยกส่วน (Decentralization Control) ทำให้มีความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ตัวอย่างไมโครกริดในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น Santa Rita Jail ประกอบด้วย แหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1.2 MW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 2.4 MW, เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอมเหลวขนาด (Molten Carbonate Fuel cells) 1 MW และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาด 2 MW/4 MWh โดย Santa Rita Jail แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีของ CERTS ซึ่งสามารถตัดการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักได้อย่างราบรื่นและรวดเร็วโดยใช้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เป็นส่วนช่วยในการเปลี่ยนโหมดการทำงาน (ระยะเวลาสั้นกว่า 8 ms) ซึ่งถูกกล่าวถึงไว้ใน [7] จากบทความ [8] Ameren Microgrid ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาด 100 kW , แหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 125 kW เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ 2 เครื่อง ขนาดเครื่องละ 500 kW และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาด 200 kW/500 kWh โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติดังกล่าวใช้การควบคุมแบบความถี่และแรงดัน (V/F Control) ดังนั้นระบบกักเก็บพลังงานจะเป็นองค์ประกอบสำคัญในช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติ ระบบกักเก็บพลังงานจะจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดเป็นระยะเวลา 60 วินาที ก่อนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติจะทำงาน จากบทความที่

[7] Borrego Springs Microgrid ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 3.6 MW, แหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 700 kW และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาด 1.5 MW/4.6 MWh โดยใช้ระบบ SCADA ในการควบคุมการทำงานของไมโครกริด

โครงการไมโครกริดในประเทศเดนมาร์ก

ประเทศเดนมาร์กมีนโยบายเชิงรุกในด้านพลังงานในอนาคต โดยมีการวางแผนบูรณาการใช้พลังงานทดแทน โดยในไมโครกริดในพื้นที่ Bornholm Island ประกอบด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชีวมวล รถยนต์ไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมในพื้นที่ดังกล่าวมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงถึง 30 % ของปริมาณโหลดรวมทั้งหมด โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมใช้ารควบคุมแบบการปรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (P-Q Control) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำใช้การควบคุมแบบปรับความถี่ ในขณะที่อยู่ในโหมดแยกโดด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมจะต้องควบคุมไม่ให้กำลังไฟฟ้าจริงด้านออกเกิดการแกว่ง [9]

โครงการไมโครกริดในประเทศแคนาดา

โครงการ Boston Bar Microgrid เป็นโครงการไมโครกริดที่ถูกจัดตั้งเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาไฟฟ้าดับ โครงการนี้ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 4.32 MVA เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 25 kV เมื่อมีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำเพียงเครื่องเดียวจะใช้โหมดการทำงานแบบไอโซโครนัส (Isochronous Mode) ซึ่งความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะคงที่ทุก ๆ ช่วงกำลังไฟฟ้าที่ผลิต แต่เมื่อมีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำมากกว่า 1 เครื่อง จะเปลี่ยนโหมดการควบคุมเป็นการควบคุมในลักษณะสมบัติของดรู๊ปความเร็ว (Droop Characteristic) สำหรับควบคุมความถี่ และในส่วนของกรควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะใช้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulation; AVR) เพื่อรักษาระดับแรงดันที่จุดเชื่อมต่อ โดยในโครงการดังกล่าวมีกระบวนการรีซิงโครไนซ์ผ่านระบบทางไกล (Remote Auto Resynchronization) เพื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักหลังจากกำจัดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้ว กระบวนการดังกล่าวสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ หรือสั่งการทำงานโดยผู้ควบคุมระบบ ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น [10]

โครงการไมโครกริดในประเทศญี่ปุ่น

โครงการไมโครกริดในประเทศญี่ปุ่น มีเป้าหมายหลักของการทำไมโครกริดเพื่อรักษาสมดุลย์ระหว่างความต้องการไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน

แสงอาทิตย์แบบกระจายตัวตามบ้านเรือน โดยมีกลุ่มที่บริหารจัดการโดย New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) [11]

โครงการเซนไต ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเครื่องยนต์แก๊ซขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 350 kW จำนวน 2 เครื่อง โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 50 kW และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาด 200 kW โดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อสาธิตการใช้แหล่งพลังงานแบบกระจายตัวแบบต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกัน โครงการเซนไตได้มีการแบ่งกลุ่มของโหลดตามความสำคัญออกเป็น 4 ประเภทได้แก่ A B1 B3 และ C โหลดที่อยู่ในระดับ A จะมีระบบช่วยรักษาคุณภาพไฟฟ้า และอุปกรณ์ชดเชยเพื่อรับประกันคุณภาพไฟฟ้าในระดับที่สูงมาก ในส่วนของโหลดระดับ B1 จะมีการเชื่อมต่อกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แต่จะไม่มีระบบช่วยรักษาคุณภาพไฟฟ้า ในช่วงที่เกิดแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อม ในส่วนของโหลดระดับ B3 จะมีการชดเชยในช่วงที่เกิดไฟฟ้าตก ระยะสั้นด้วยตัวชดเชยอนุกรมแบบระยะสั้นเพียงอย่างเดียว และสุดท้ายในส่วนของโหลดระดับ C นั้นจะเป็นโหลดที่ให้ความสำคัญน้อยที่สุด โดยโครงการนี้ประสบความสำเร็จในการทำงานของไมโครกริดในโหมดแยกโดด เนื่องจากในช่วงที่เกิดแผ่นดินไหว นอกชายฝั่งในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ส่งผลให้เกิดคลื่นสึนามิพัดเข้าชายฝั่งทำให้เกิดความเสียหายของระบบไฟฟ้าหลัก ทำให้ไมโครกริดเซนไตต้องทำงานในโหมดแยกโดดโดยใช้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดที่มีความสำคัญได้แก่ โหลดระดับ A และ B1 เป็นระยะเวลากว่า 11 ชั่วโมง ก่อนที่จะต้องหยุดจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านขนาดของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โดยหลังจากการตรวจสอบการส่งจ่ายแก๊ซสำหรับผลิตไฟฟ้าที่มีความปลอดภัยเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถผลิตไฟฟ้าจากแก๊ซได้ทำให้มีกำลังผลิตไฟฟ้าเพียงพอสำหรับโหลดทั้งหมด โดยไมโครกริดก็ยังดำเนินการในโหมดแยกโดดต่อไปได้ จนกระทั่งระบบไฟฟ้าหลักสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ

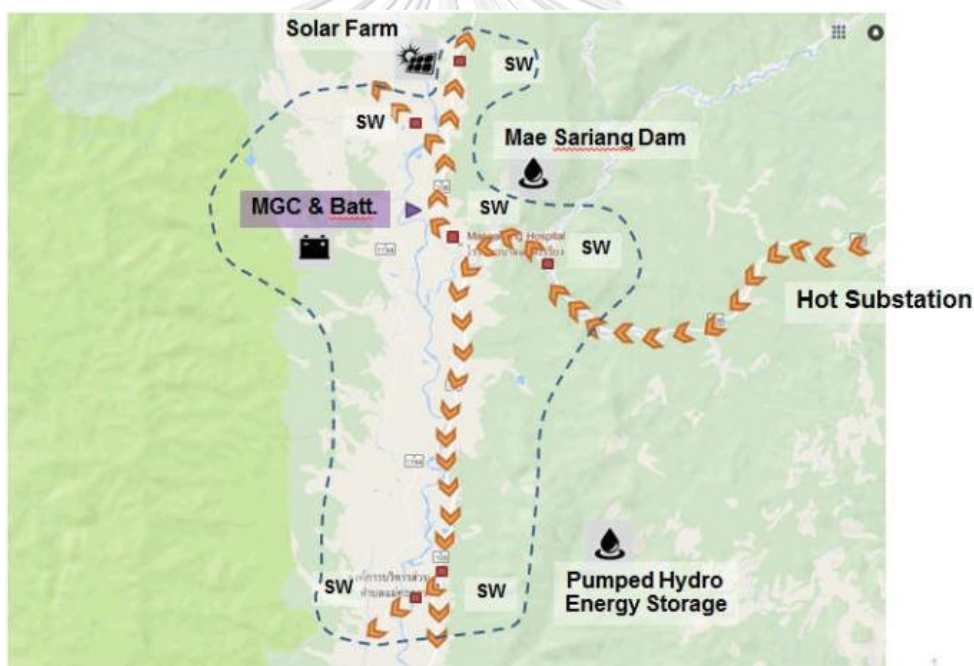
1.2.2 โครงการไมโครกริดกระแสสลับในประเทศไทย

ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันได้มีการนำเสนอโครงการไมโครกริดกระแสสลับในทางวิชาการอย่างกว้างขวาง จึงได้มีการผลักดันให้เกิดโครงการนำร่องต่าง ๆ สำหรับศึกษาวิธีการจ่ายไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลภายในประเทศไทยและรองรับระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดของประเทศไทย พร้อมทั้งรองรับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและระบบกักเก็บพลังงานเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ในประเทศไทยประกอบด้วย 2 โครงการหลัก ซึ่งเป็นโครงการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ได้แก่

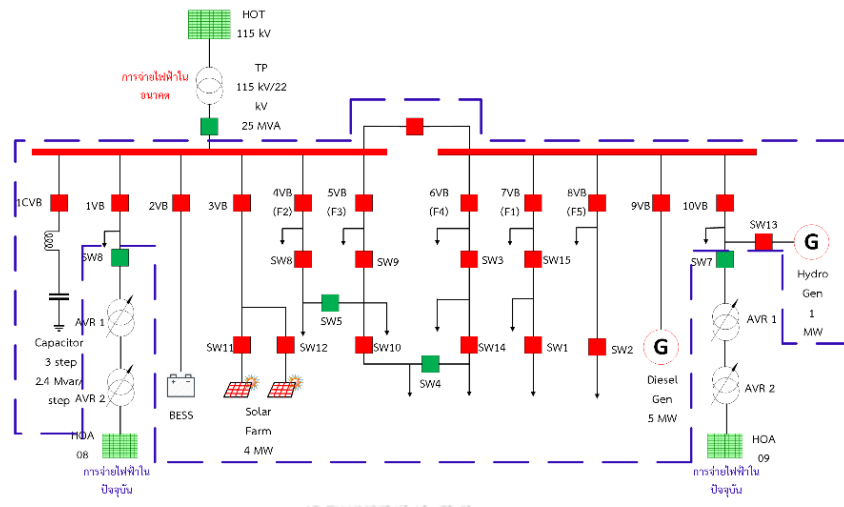
โครงการไมโครกริดกระแสสลับที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้นำเสนอแนวคิดของโครงการไมโครกริดกระแสสลับที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน [1] ครอบคลุมพื้นที่แสดงในรูปที่ 1.1 และมีการจ่ายไฟฟ้าในอนาคตแสดงใน

รูปที่ 1.2 เมื่อมีการก่อสร้างสายสถานีไฟฟ้าและสายส่งจากสถานีไฟฟ้าขนาด 115 kV ซึ่งจะก่อสร้างเสร็จภายหลังการดำเนินการสร้างไมโครกริดแล้วเสร็จ วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าภายในพื้นที่ดังกล่าว และศึกษาวิธีการจ่ายไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล โดยใช้แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวภายในพื้นที่ ประกอบด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 1 MW จำนวน 5 เครื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 0.5 MW จำนวน 2 เครื่อง และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 4 MW โครงการนี้ได้มีการออกแบบระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่กำลังผลิตติดตั้งขนาด 1.5 MW/3 MWhr เพื่อรองรับโหลดสำคัญบางส่วนในกรณีที่ต้องทำงานโหมดแยกโดด อย่างไรก็ตามในรายงานยังไม่ได้พิจารณาศึกษาการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่ประสานการทำงานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อต้องทำงานในสภาวะแยกโดดว่าสามารถควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้หรือไม่



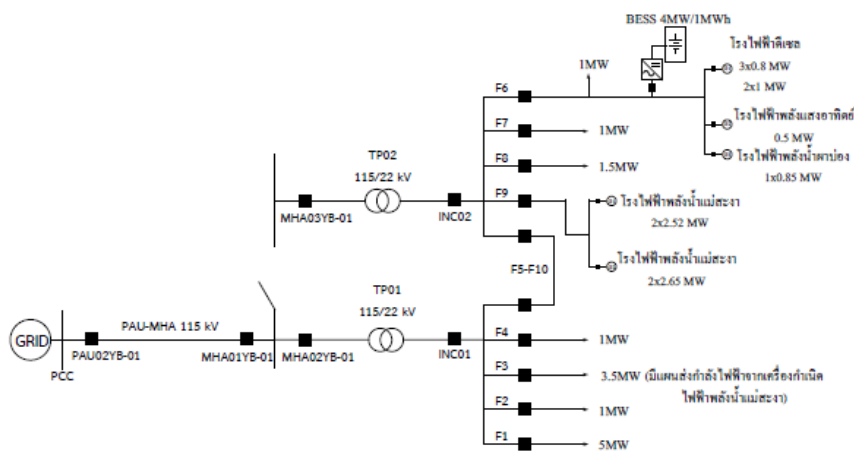
รูปที่ 1.1 พื้นที่ครอบคลุมของไมโครแม่สะเรียง [1]



รูปที่ 1.2 ไมโครกริดแม่สะเรียง เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าผ่านระบบ 115 kV

โครงการไมโครกริดกระแสสลับที่อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) นำเสนอแนวคิดโครงการไมโครกริดกระแสสลับ ในอำเภอเมืองจังหวัด แม่ฮ่องสอน [12] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า และเป็นแผนนาร่องของการนำทางโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ซึ่งจะขยายผลไปยังพื้นที่อื่น ๆ ไมโครกริดอำเภอเมืองจังหวัดแม่ฮ่องสอน แสดงในรูปที่ 1.3 โดยภายในไมโครกริดประกอบแหล่งผลิตไฟฟ้ากระจายตัว ได้แก่ โรงไฟฟ้าดีเซล โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาด 4 MW/1 MWh โดยมีวัตถุประสงค์ที่ติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อใหทำงานร่วมกับแหล่งผลิตไฟฟ้ากระจายตัวภายในพื้นที่ และตอบสนองต่อโหมดการทำงานของไมโครกริดที่ประกอบด้วย โหมดเชื่อมต่อกับโครงข่าย (Grid-Connected Mode) โหมดแยกโดด (Islanding mode) และช่วงเปลี่ยนผ่าน (Transition Mode)



รูปที่ 1.3 ไมโครกริดอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

1.3 วิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่กับโหมดการทำงานของไมโครกริดกระแสสลับ

ไมโครกริดกระแสสลับประกอบด้วยโหมดการทำงานอยู่ 3 โหมดหลัก ได้แก่

1.3.1 โหมดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก (Grid-Connected Mode)

การทำงานในโหมดนี้ ไมโครกริดกระแสสลับจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก โดยกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุดเชื่อมต่อ (Point of Common Coupling; PCC) สามารถไหลได้สองทิศทาง โดยจะขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวภายในไมโครกริด และปริมาณความต้องการไฟฟ้าภายในไมโครกริด โดยในโหมดนี้โครงข่ายไฟฟ้าหลักจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อให้มีค่าปกติหรือที่เรียกว่า ตัวจัดตั้งโครงข่าย (Grid Forming) จากงานวิจัยที่ [13] โหมดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก จะใช้การควบคุมกำลังจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Power and Reactive Power Control System; PQ Control Mode) จาก การควบคุมกระแสในแกนดีคิว (dq current) ในงานวิจัย [14] นำเสนอการควบคุมคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสโดยมีการตรวจวัดความถี่และมุมเฟสของดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อ ผ่านชุดควบคุมแบบเฟสล็อกคัล (Phase-Locked Loop; PLL) ดังนั้นระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะเป็นตัวช่วย กำหนดกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านจุดเชื่อมต่อของไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าหลักได้

1.3.2 โหมดเปลี่ยนผ่าน (Transition Mode)

การทำงานในโหมดการเปลี่ยนผ่านนี้จะแบ่งออกเป็น 2 โหมด ได้แก่

1.3.2.1 โหมดเปลี่ยนผ่านจากโหมดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักไปยังโหมดแยกโดด

การทำงานในโหมดนี้มีวิธีการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่คือคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Mode) ทำงานร่วมกับลักษณะดรอปความเร็ว (Droop Characteristic) เพื่อไม่ให้เกิดการแข่งขันกันทำงาน ระหว่างระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายตัวอื่น ๆ ในไมโครกริด

1.3.2.2 โหมดเปลี่ยนผ่านจากโหมดแยกตัวอิสระกลับไปยังโหมดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก

การทำงานในโหมดนี้ใช้การทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีหน้าที่ในการควบคุมความถี่ มุมเฟส และขนาดของแรงดันที่จุดเชื่อมต่อของไมโครกริดให้มีค่าเท่ากับ ระบบไฟฟ้าหลัก หรือไม่เกินขอบเขตที่ยอมรับได้ของการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก

1.3.3 โหมดแยกโดด (Islanding Mode)

การทำงานในโหมดนี้แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวภายในไมโครกริดจะต้องผลิต กำลังไฟฟ้าให้สมดุลกับปริมาณของโหลดภายในไมโครกริด โดยจะมีแหล่งผลิตไฟฟ้ากระจายตัวหลัก

ตัวหนึ่งที่มีลักษณะสมบัติเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยจะทำงานในโหมดควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าของไมโครกริด (Voltage and Frequency Control Mode; VF Control Mode) เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่มีลักษณะการควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมีผลตอบสนองที่ไวมาก จึงสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ในการจัดตั้งโครงข่ายไฟฟ้าได้ (Grid Forming) แต่ด้วยข้อจำกัดของกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดภายในไมโครกริด อาจจะต้องมีการพิจารณาความสำคัญของโหลดในกรณีที่แหล่งผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอ

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ [15] ได้นำเสนอวิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่สำหรับไมโครกริดของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยให้คอนเวอร์เตอร์มีการควบคุมในลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือนสำหรับควบคุมความถี่ และแรงดันไฟฟ้า จากทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส [16] ซึ่งมีหลักการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเมื่อต่อขนานร่วมกันในระบบไฟฟ้าโดยใช้หลักการควบคุมความถี่ - กำลังไฟฟ้าจริง นอกจากนี้ยังสามารถบ่อนค่าความถี่อ้างอิงโหลด (Load Reference) ซึ่งสามารถกำหนดการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อขนานกันในระบบได้

งานวิจัย [3] ได้วิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบของเหตุการณ์ในอดีตที่มีผลมาจากแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนซึ่งเกี่ยวกับความถี่ของระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์มีบทบาทสำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากความถี่ของระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยขึ้นอยู่กับโหลดและสภาพอากาศ เช่น แสงแดด และลม จากเหตุการณ์ข้างต้นอุปกรณ์ที่ช่วยควบคุมความถี่ควรสามารถควบคุมความถี่เบี่ยงเบนได้ในทันที โดยจากงานวิจัย [17] ได้กล่าวถึงสูญเสียเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าส่งผลให้โหลดถูกตัดออกจากระบบ และเกิดปัญหาไฟฟ้าดับในวงกว้าง โดยสาเหตุหลักไม่ได้มาจากการเกิดความผิดปกติภายในระบบ แต่มาจากการตัดการเชื่อมต่อของอินเวอร์เตอร์ที่เชื่อมระหว่างการผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนกับระบบไฟฟ้าหลัก

งานวิจัย [18] ได้นำเสนอการควบคุมอินเวอร์เตอร์เสมือนการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเทียบกับการควบคุมแบบตรูพ โดยได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอินเวอร์เตอร์เสมือนการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสมีความถี่ของความถี่เบี่ยงเบนมากกว่าการควบคุมแบบตรูพ และได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมทั้งสองแบบมีข้อดีว่าการควบคุมแบบเดิมที่ใช้การควบคุมกระแสของอินเวอร์เตอร์คือสามารถเป็นตัวจัดตั้งโครงข่ายของไมโครกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังไม่ได้กล่าวถึงการควบคุมแบบประสานงานกันของระบบกักเก็บพลังงานและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

งานวิจัย [19] ได้นำเสนอระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ที่ทำงานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงของ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเป็นแบบชนิดป้อนสองทาง (Doubly-Fed Induction Generator; DFIG) โดยเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานที่บัสไฟตรง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม โดยเครื่องยนต์ที่ออกแบบเป็นชนิด แบบเป็นชนิด 4 จังหวะ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิด 4 ขั้ว โดยได้มีการกล่าวถึงการจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล แต่ยังไม่ได้มีการกล่าวถึงการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เอาไว้

งานวิจัย [20-22] ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเป็นฟังก์ชันของความเร็วและพลังงานกลที่ด้านออกเครื่องยนต์ โดยเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะจำลองแบบง่าย ๆ โดยมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กับกำลังของเครื่องยนต์ที่จะไปขับเพลลาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยฟังก์ชันการถ่ายโอนจะมีส่วนเกี่ยวข้องของการหน่วงเวลาของการเผาไหม้เชื้อเพลิง ในส่วนของตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักร (Governor) นั้นสามารถนิยามเป็นอุปกรณ์ทางกล หรือไฟฟ้าสำหรับการควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์โดยอัตโนมัติจะเกี่ยวข้องกับการบริโภคเชื้อเพลิง

งานวิจัย [23] ได้นำเสนอการใช้การควบคุมแบบดรูปรูปกำลัง เพื่อลดอุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงที่มีกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์มากเกินไป โดยวิธีการนี้ส่งผลให้มีการลดลงของการเปลี่ยนแปลงความถี่ และยังช่วยลดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล แต่ยังไม่ได้กล่าวถึงการทำงานร่วมกันกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

งานวิจัย [24] ได้นำเสนอแนวทางการทำงานร่วมกันแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เพื่อบริหารจัดการพลังงานในแต่ละวัน แต่ไม่ได้กล่าวถึงการควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

งานวิจัย [25] ได้นำเสนอแนวทางการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่มีการควบคุมแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือน (Virtual Synchronous Machine; VSM) ผ่านคอนเวอร์เตอร์แรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Converter) โดยใช้การทำงานของเฟสล็อกคูลูป (Phase Locked Loop; PLL) โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือนสามารถเลียนแบบการตอบสนองความถี่ และต้นกำลัง (Prime mover) ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นเนื่องจากพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือนสามารถปรับแต่งได้ง่าย

งานวิจัย [26] ได้นำเสนอการทำงานระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลกับแหล่งผลิตไฟฟ้าชนิดคอนเวอร์เตอร์ผ่านระบบจำลองไมโครกริด โดยทดลองพบว่า มีการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้าดีเซลกับแหล่งผลิตไฟฟ้าชนิดคอนเวอร์เตอร์ และความผันผวนของความถี่อันเนื่องมาจากผลควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล จากผลการจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีค่าความเร็วที่มากกว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าชนิดคอนเวอร์เตอร์ เมื่อแหล่งผลิตไฟฟ้าชนิดคอนเวอร์เตอร์จ่ายกำลังถึงค่าพิกัด ความถี่ในระบบจะถูกควบคุมโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ซึ่งในช่วงเวลานี้พลวัตของ

ตัวควบคุมเครื่องจักรจะส่งผลให้เกิดการแกว่งของความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและด้วยเหตุนี้จึงส่งผลต่อความถี่ของระบบไฟฟ้า

งานวิจัย [27] ได้นำเสนอการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือน โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสำหรับโหมดการทำงานต่าง ๆ ของไมโครกริดอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งแสดงให้เห็นการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในโหมดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น โหมดการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก โหมดการเปลี่ยนผ่านหรือโหมดแยกโดด แต่ยังไม่ได้มีการกล่าวถึงการทำงานร่วมกันกับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวอื่น ๆ ภายในไมโครกริด

งานวิจัย [28] ได้นำเสนอการใช้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อลดผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อระบบไฟฟ้า โดยได้มีการนำเสนอการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิสำหรับควบคุมความถี่โพลตโดยใช้การควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลแบบขนานในการปรับแต่งสัญญาณความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนเพื่อเป็นสัญญาณป้อนเข้าให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละชนิด

งานวิจัย [29] ได้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการเกิดแรงดันไฟฟ้ากะพริบ (Voltage flicker) เนื่องจากแรงบิดที่เกิดจากการทำงานของกระบอกสูบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล งานวิจัยดังกล่าวได้ตรวจวัดการเกิดระลอกแรงบิดแล้วพบว่า มีระลอกแรงบิดสูงถึงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมานั้นเกิดความผันผวนตามแรงบิดที่เกิดขึ้น แต่ยังไม่ได้กล่าวถึงวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว

งานวิจัย [30] ได้กล่าววิเคราะห์การทำงานของไมโครกริดในโหมดแยกโดด โดยพิจารณาการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ แต่ไม่ได้กล่าวถึงการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และผลกระทบของระลอกคลื่นแรงบิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

1.5 สรุปปัญหาและข้อจำกัดในงานวิจัยที่ผ่านมา

1) งานวิจัยส่วนใหญ่ยังขาดการนำเสนอวิธีการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ทำงานประสานกันระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายตัวอื่น ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ในโหมดการทำงานแบบแยกโดด

2) จากกรณีศึกษาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังไม่ได้พิจารณาการทำงานของไมโครกริดในโหมดแยกโดดเมื่อมีความผันผวนจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลจริงของโพลต และกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

1.6 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1) ประยุกต์วิธีการควบคุมอินเวอร์เตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ที่ประสานการผลิตไฟฟ้าของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในโหมดแยกโดดของไมโครกริด
- 2) ศึกษาการควบคุมการผลิตไฟฟ้า ที่พิจารณาผลของความผันผวนของโหลดและแหล่งผลิตไฟฟ้ากระจายตัวพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อรักษาความถี่และแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟผ. [31]

1.7 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

- 1) จำลองการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ให้มีคุณลักษณะสมบัติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือน
- 2) จำลองการทำงานของไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียง เพื่อรองรับการทำงานแบบประสานงานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ความรู้ในการประสานงานการทำงานร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่
- 2) แนวทางการควบคุมความถี่ สำหรับระบบไมโครกริดในโหมดการทำงานแบบแยกโดด โดยการประสานงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่
- 3) แนวทางการลดความผันผวนของกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้การประสานงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

1.9 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาข้อมูล คุณลักษณะ หลักการทำงาน และแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล รวมถึงตัวการประยุกต์ใช้งาน
- 2) ศึกษาข้อมูล คุณลักษณะ หลักการทำงาน และแบบจำลองของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ รวมถึงตัวการประยุกต์ใช้งาน
- 3) ศึกษาบทความและวิจัยเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่
- 4) ออกแบบระบบควบคุม ที่ทำงานประสานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่
- 5) จำลองระบบตามที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT)
- 6) วิเคราะห์และสรุปผลการจำลอง
- 7) เขียนวิทยานิพนธ์และสรุปผลการศึกษา

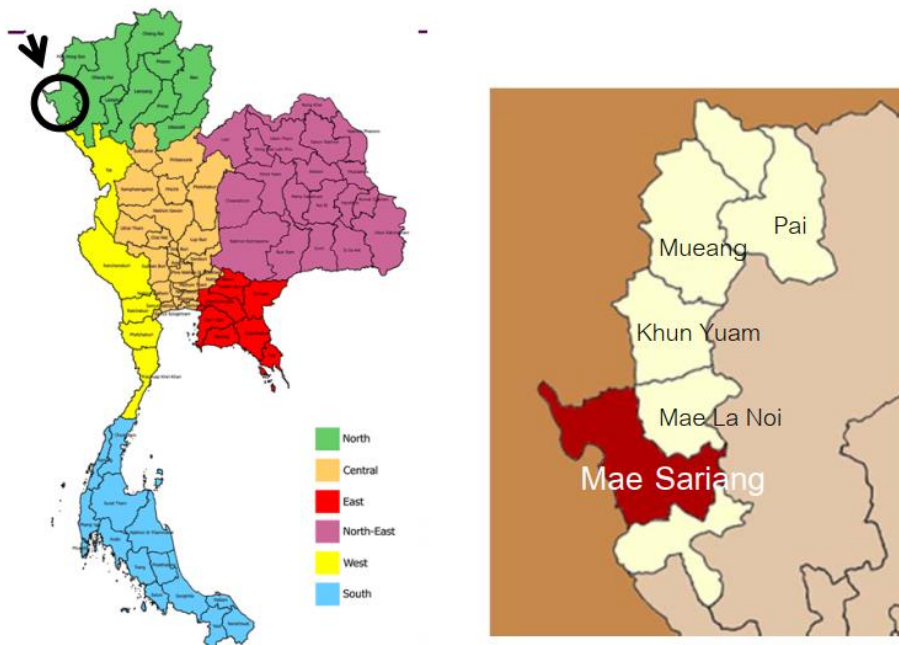
บทที่ 2

ข้อมูลทั่วไปและระบบไฟฟ้าของอำเภอแม่สะเรียง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลทั่วไปของอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน รวมถึงข้อมูลโพลด และแหล่งผลิตไฟฟ้าภายในอำเภอแม่สะเรียง เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงต่อไป

2.1 ข้อมูลทั่วไปของอำเภอแม่สะเรียง

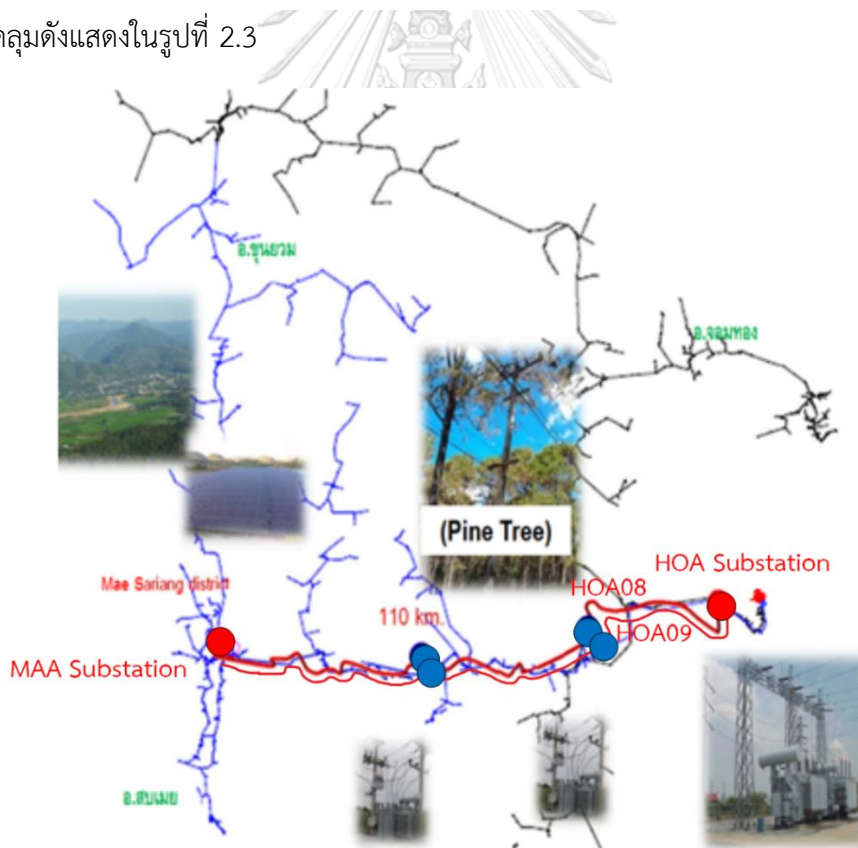
อำเภอแม่สะเรียงเป็น 1 ใน 7 อำเภอของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหุบเขาสลับซับซ้อน มีอาณาเขตติดต่อกับประเทศพม่า อำเภอแม่ลาน้อย อำเภอแม่แจ่ม อำเภอสบเมย และอำเภอฮอด(จังหวัดเชียงใหม่) มีเนื้อที่ประมาณ 2587.4 ตารางกิโลเมตร แม่สะเรียงเป็นอำเภอที่กำลังได้พัฒนาให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ ด้วยมีความเป็นธรรมชาติ ชวนเขา ป่าไม้อันสมบูรณ์ โดยแผนที่ทางภูมิศาสตร์ของอำเภอแม่สะเรียงแสดงไว้ดังรูปที่ 2.1



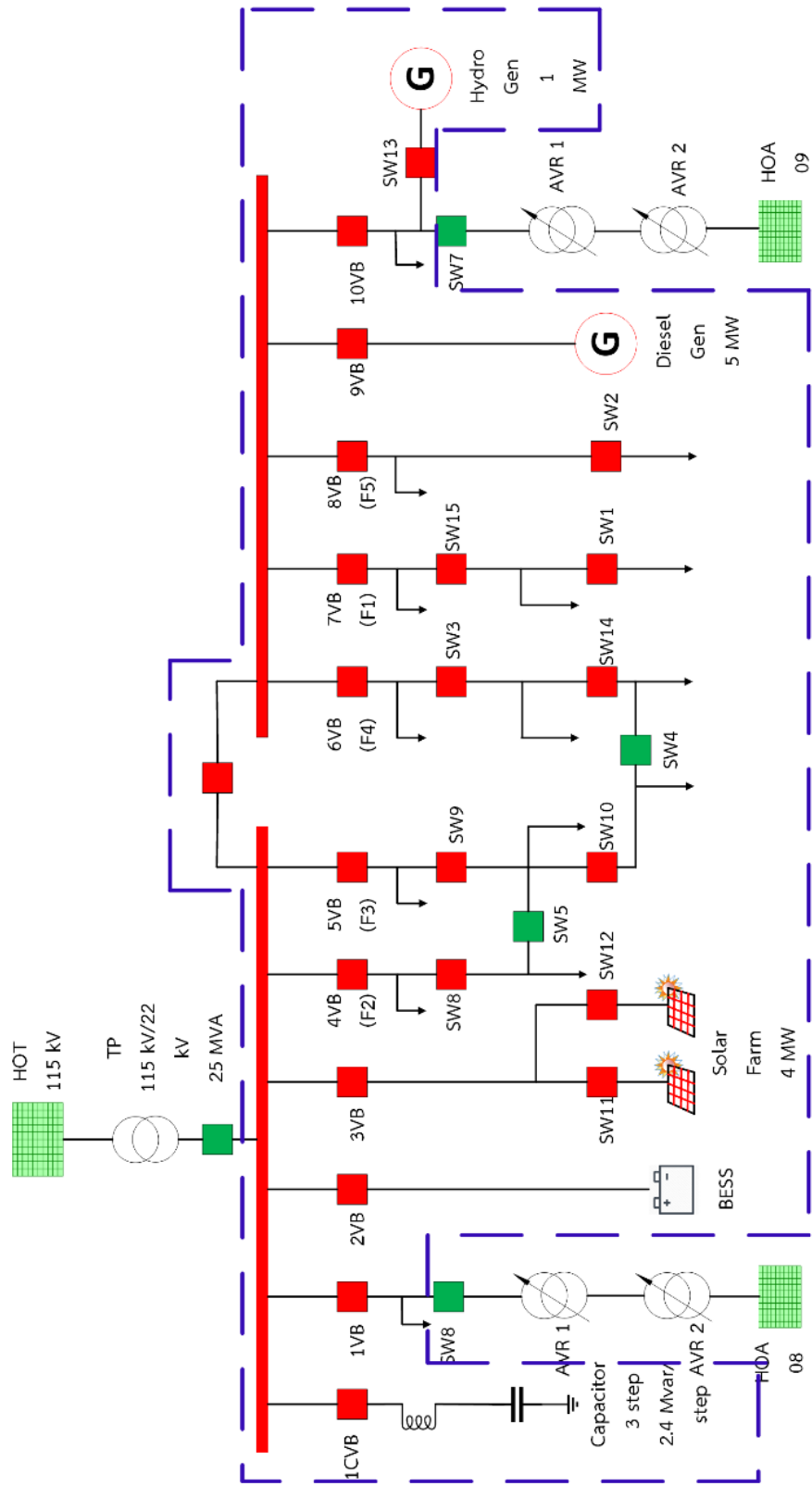
รูปที่ 2.1 แผนที่อำเภอแม่สะเรียง

2.2 การจ่ายไฟฟ้าในไมโครกริดแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงในปัจจุบันมีจุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักผ่าน 2 จุดเชื่อมต่อดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากสถานีไฟฟ้าฮอดผ่านสายป้อน HOA08 และ HOA09 โดยมีระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV ซึ่งต้องผ่านตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติจำนวน 2 เครื่อง เพื่อรักษา ระดับแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากมีระยะทางของสายป้อนประมาณ 106 กม. ในปัจจุบันสถานีแม่สะเรียงมีการจ่ายโหลดจำนวน 5 สายป้อน ได้แก่ F1 – F5 ซึ่งโดยปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดในช่วงกลางวันเนื่องจากเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นบ้านพักอาศัย และแหล่งที่พักสำหรับการท่องเที่ยว ในอนาคตจะมีการปรับปรุงผังการจ่ายไฟฟ้าของไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียงใหม่โดยจะมีการก่อสร้างสายส่งขนาด 115 kV ทำให้ระบบมีจุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักจำนวน 3 จุด ได้แก่ 1) สายส่งขนาด 115 kV จากสถานีไฟฟ้าฮอด 2) สายส่งขนาด 22 kV จากสถานีไฟฟ้าฮอดผ่านสายป้อน HOA08 และ 3) สายส่งขนาด 22 kV จากสถานีไฟฟ้าฮอดผ่านสายป้อน HOA09 เมื่อพิจารณาผังการจ่ายไฟฟ้าในอนาคตของไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียงเมื่อทำงานในภาวะแยกโดดจะมีผังการจ่ายไฟฟ้าครอบคลุมดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การจ่ายไฟฟ้าในปัจจุบันของอำเภอแม่สะเรียง



รูปที่ 2.3 แผนภาพเส้นเดี่ยวของไมโครกริดในโหมดแยกโดด

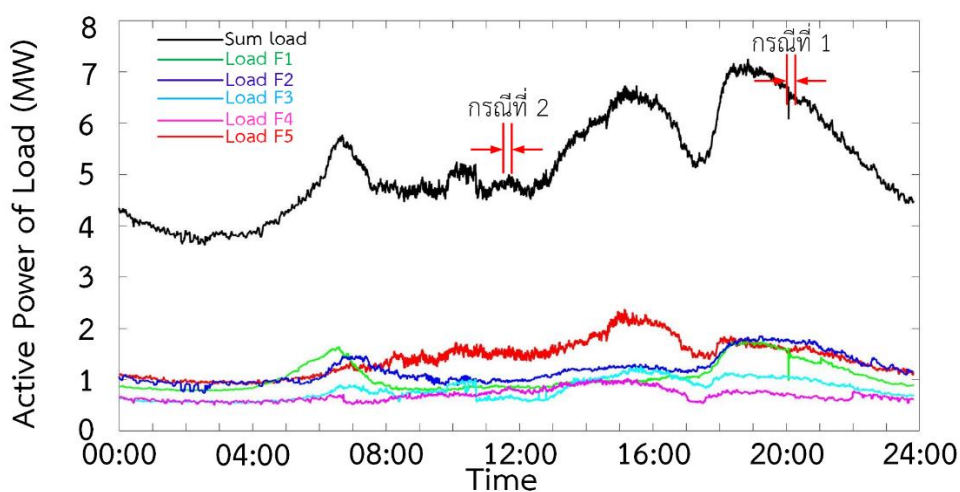
2.3 ข้อมูลโหลดและแหล่งผลิตไฟฟ้าในอำเภอแม่สะเรียงจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ในปัจจุบันอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวอยู่ 3 ชนิด ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งรวมแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กำลังผลิตติดตั้งของแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในอำเภอแม่สะเรียง

แหล่งผลิตไฟฟ้า	กำลังผลิตติดตั้ง	รวมกำลังผลิตติดตั้ง
1. โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	1 MW × 4	4 MW
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	1 MW × 5	5 MW
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ	0.5 MW × 2	1 MW
กำลังการผลิตติดตั้งรวม		10 MW

เมื่อพิจารณากำลังการผลิตติดตั้งรวมสูงสุดในระบบเมื่อไมโครกริดทำงานในโหมดแยกโดด ในช่วงที่มีกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีกำลังผลิตติดตั้งรวม 10 MW และในช่วงกลางคืนที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีกำลังผลิตติดตั้งรวมสูงสุด 6 MW ดังแสดงในตาราง จากข้อมูลโหลดที่อ้างอิงมาจากสถานีไฟฟ้าอำเภอแม่สะเรียงจังหวัดแม่ฮ่องสอนในวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2562 มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่ 7 MW ซึ่งเกิดในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีกำลังไฟฟ้า จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าในระบบไม่เพียงพอต่อการจ่ายไฟฟ้าของไมโครกริดในโหมดแยกโดด จึงจำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ภายในไมโครกริด ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 3 MW/1.5 MWh. เพื่อให้กำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการ หรือจำเป็นที่จะต้องทำการปลดโหลดออกจากระบบตามความสำคัญของโหลด โดยข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่อำเภอแม่สะเรียงจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่ได้จากกฟภ. แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4



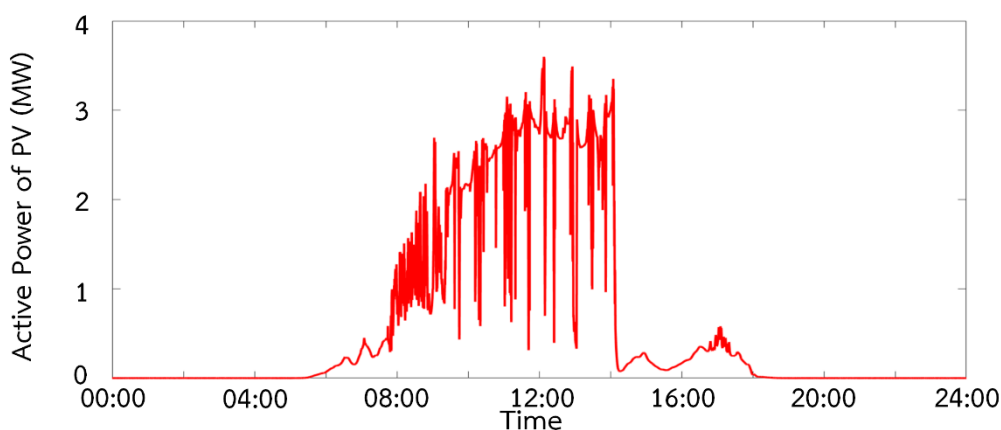
รูปที่ 2.4 แผนภาพค่าประมาณโหลดราย 10 วินาที ณ วันที่ 18 มิถุนายน 2562

2.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลภายในอำเภอแม่สะเรียงจังหวัดแม่ฮ่องสอนของ กฟภ. ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตติดตั้งเครื่องละ 1 เมกะวัตต์ จำนวน 5 เครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องเก่าจำนวน 2 เครื่อง และเครื่องใหม่จำนวน 3 เครื่อง ปัจจุบันได้มีการเดินเครื่องเพื่อช่วยจ่ายโหลดในอำเภอแม่สะเรียงในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการเดินเครื่องทั้งหมด 5 เครื่อง เพื่อทดสอบการทำงานในโหมดการทำงานแยกโดดของไมโครกริด

2.3.2 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียง

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีความผันผวนสูง เนื่องจากจากกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar irradiance) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเชื่อมต่อกับไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียง จะเชื่อมต่อผ่านเบรกเกอร์ 3 VB ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลความเข้มแสงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาป่องราย 10 วินาที ที่เกิดความผันผวนสูงสุด จากงานวิจัย [28] ที่ได้เก็บข้อมูลความเข้มแสงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาป่องจำนวน 42 วัน ในปี 2559 ซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกัน และนำมาปรับประมาณค่าให้มีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตภายใน 24 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียงขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 4 เมกะวัตต์ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3

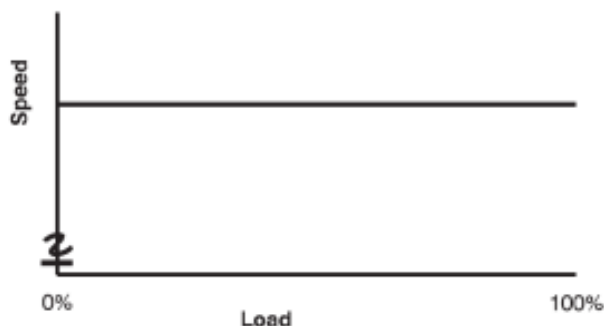
การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่

3.1 การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

ความถี่ของระบบไฟฟ้าขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าของระบบ และแรงดันไฟฟ้าของระบบจะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ เพื่อให้การทำงานของระบบไฟฟ้าเป็นที่น่าพอใจเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องรักษาคุณภาพไฟฟ้าในด้านของความถี่และแรงดันไฟฟ้าให้ใกล้เคียงกับค่าปกติ ในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงเครื่องเดียว ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulators; AVR) ก็เพียงพอต่อการรักษาระดับแรงดันให้ใกล้เคียงกับค่าปกติ สำหรับการควบคุมความถี่ของตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักร (Speed governor) นั้นก็เพียงพอต่อการรักษาความถี่ให้ใกล้เคียงกับค่าปกติ โดยควบคุมการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ แต่เมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลาย ๆ ต่อขนานกันในระบบจำเป็นต้องมีการควบคุมในลักษณะของรูปความเร็ว

3.1.1 การควบคุมแบบไอโซโครนัส

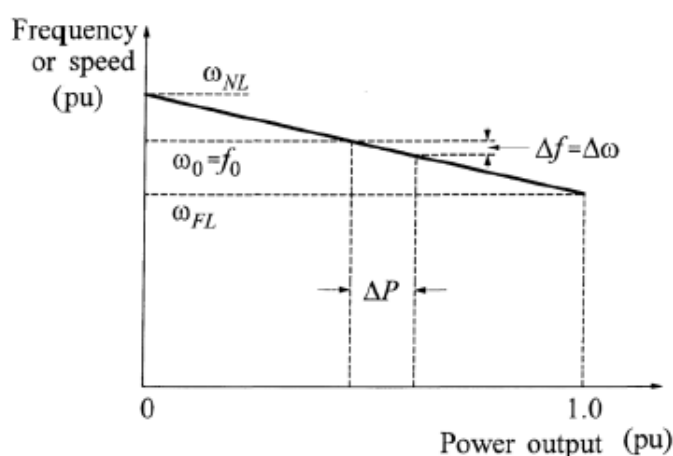
การควบคุมแบบไอโซโครนัส เมื่อต้นกำลัง (Prime Mover) มีการควบคุมความเร็วเครื่องจักรเป็นแบบไอโซโครนัส ต้นกำลังจะรักษาความเร็วไว้ที่ค่าที่ตั้งไว้ตลอดช่วงการทำงานของโหลด โดยการควบคุมแบบไอโซโครนัสไม่สามารถใช้งานได้เมื่อมีเครื่องกำเนิดตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเดียวกัน เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะต้องการตั้งค่าความเร็วเท่ากันอย่างแม่นยำ มิฉะนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวจะแข่งขันกันทำงานเพื่อแย่งกับควบคุมความถี่ตามการตั้งค่าของเครื่องตนเอง คุณลักษณะการทำงานการควบคุมแบบไอโซโครนัสแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 คุณลักษณะการทำงานการควบคุมแบบไอโซโครนัส

3.1.2 การควบคุมแบบดรูปรูปความเร็ว

การควบคุมแบบดรูปรูปความเร็ว ใช้ในการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีที่มีการต่อขนานในระบบมากกว่า 1 เครื่อง โดยจะพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีลักษณะการทำงานแบบดรูปรูปความเร็ว จุดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตามกราฟลักษณะการทำงานของดรูปรูป เมื่อความถี่ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้ามามากขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบแต่ละเครื่องจะจ่ายกำลังไฟฟ้าตามคุณลักษณะของดรูปรูปที่ได้ถูกตั้งค่าไว้ของตัวควบคุมเครื่องจักร (Speed Governor) คุณลักษณะการทำงานแบบดรูปรูปความเร็วแสดงดังรูปที่ 3.2



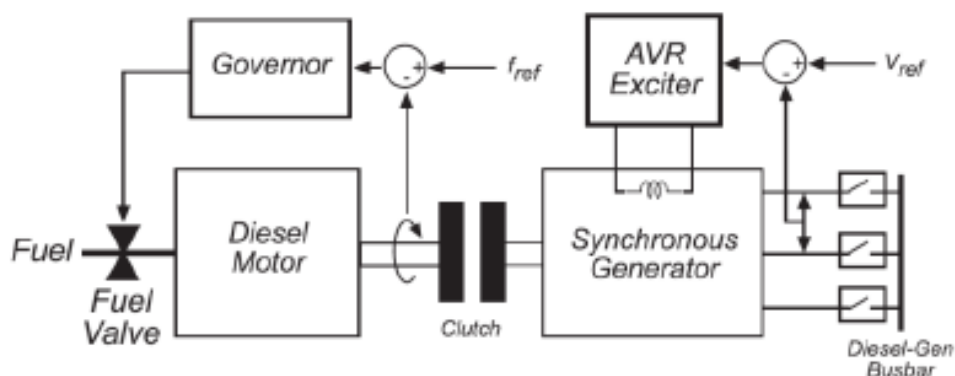
รูปที่ 3.2 คุณลักษณะการทำงานของดรูปรูปความเร็วในอุดมคติ [16]

$$Droop = \Delta f / \Delta P \quad [\text{pu/pu}] \quad (3.1)$$

3.2 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

3.2.1 รายละเอียดทางกายภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วย เครื่องยนต์ดีเซลที่เชื่อมต่อทางกลบนเพลลาเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เครื่องยนต์ดีเซลจะทำหน้าที่เป็นต้นกำลังโดยแปลงผันพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานกลผ่านแรงบิดของเพลลาหมุนส่งกำลังไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส โดยมีการควบคุมผ่านตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักรผ่านวาล์วเชื้อเพลิงเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดบนเพลลา โดยรายละเอียดทางกายภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแสดงไว้ดังรูปที่ 3.3



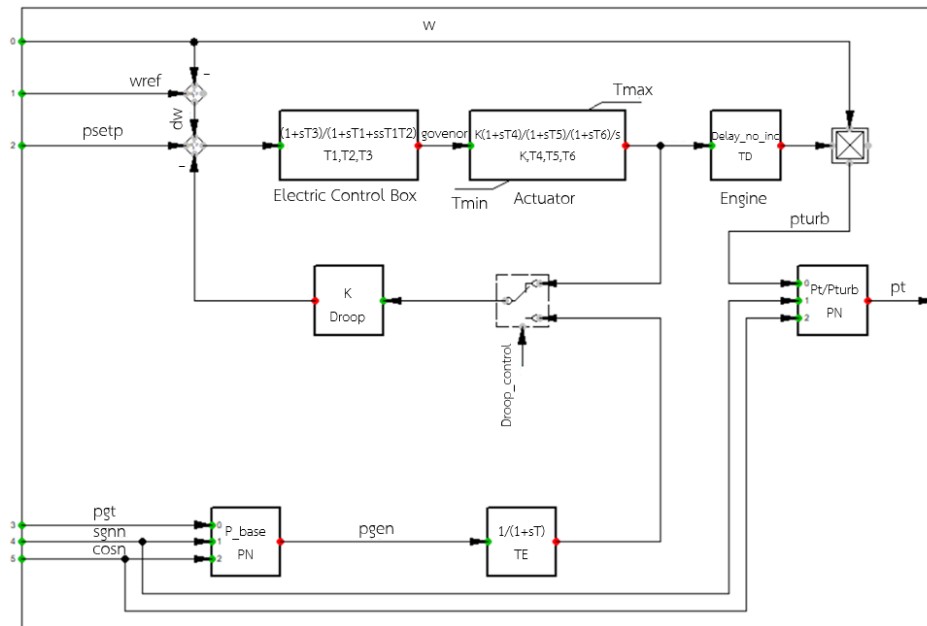
รูปที่ 3.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [30]

3.2.2 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบจำลองพื้นฐานในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT) [32] ซึ่งแสดงถึงวงจรที่สมมูลย์ และสมการสำหรับอธิบายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โดยค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถป้อนในแบบจำลองได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการทำวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามที่ได้ติดตั้งในไมโครกริดอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 1.25 MVA ที่มีกำลังไฟฟ้าจริง 1 MW ซึ่งมีแผ่นข้อมูลอยู่ใน [ภาคผนวก ก]

3.2.3 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักร (Governor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT)

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ใช้แบบจำลองพื้นฐานในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT) ที่มีชื่อว่า “DEGOV1” ซึ่งสามารถพบได้ในแบบจำลองมาตรฐาน ซึ่งพัฒนาโดย Woodward Company [32] รูปแบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [32]

โดยแบบจำลองประกอบด้วย 3 บล็อกหลัก ได้แก่ Electric Control Box เป็นตัวควบคุมแบบอนุโลคชนิด PT1 ซึ่งให้สัญญาณสำหรับควบคุม ตัวกระตุ้น (Actuator) จะแปลงสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณของอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง บล็อกเครื่องยนต์ (Engine Box) จะแสดงถึงการหน่วงเวลาของการเผาไหม้ เพื่อแปลงสัญญาณเชื้อเพลิงเป็นสัญญาณแรงบิดทางกล โดยตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักร (Governor) มีลักษณะความควบคุมแบบรูปความเร็ว ซึ่งถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์ K (Droop) ของแบบจำลอง โดยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัย [30] ซึ่งมีขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเท่ากับ 0.86 MW โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มีค่าดังตารางที่ 3.1

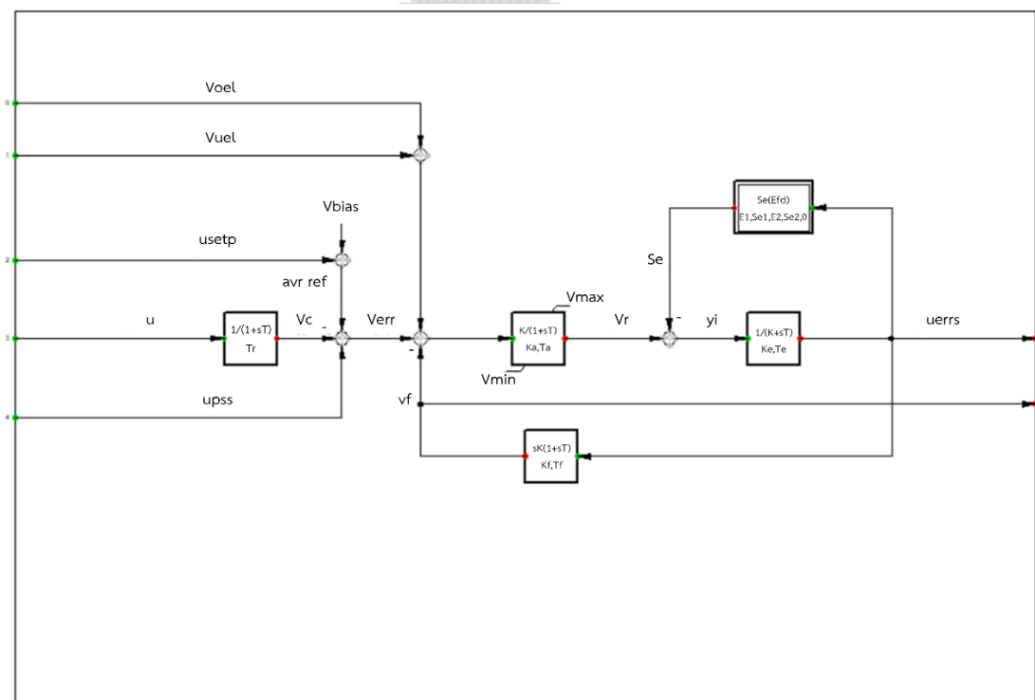
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองของตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักรดีเซล

Parameters	Units	Description	Values
K	[pu]	Actuator gain	9
T4	[s]	Actuator derivative time constant	0.35
T5	[s]	Actuator first time constant	0.002
T6	[s]	Actuator second time constant	0.015
TD	[s]	Combustion delay	0.024
Droop	[pu/pu]	Frequency deviation / active power change	0.05
TE	[s]	Time const. power feedback	0.5

Parameters	Units	Description	Values
T1	[s]	Electric control box first time constant	0.018
T2	[s]	Electric control box second time constant	0.0001
T3	[s]	Electric control box derivative time constant	0.38
Droop_Control	-	(0=Throttle feedback, 1=Elec. Power feedback)	0
PN	[MW]	Prime mover rated power (PN=P _{gmn})	1
Tmin	[pu]	Minimum torque (at minimum position of throttle)	0
Tmax	[pu]	Maximum torque (at maximum position of throttle)	1.2

3.2.4 แบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT)

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ใช้แบบจำลองพื้นฐานในโปรแกรม PowerFactory (DigSILENT) ที่มีชื่อว่า “IEEET1” ซึ่งสามารถพบได้ในแบบจำลองมาตรฐาน [32] รูปแบบจำลองควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล [32]

แบบจำลองจะรับค่าแรงดันไฟฟ้าจริง ผ่านสัญญาณ u และแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการผ่านสัญญาณ $usetp$ เพื่อให้แรงดันกระตุ้นมีค่าตามแรงดันที่ต้องการโดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีค่าดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

Parameters	Units	Description	Values
Tr	[s]	Measurement delay	0.02
Ka	[pu]	Controller gain	200
Ta	[s]	Controller time constant	0.003
Ke	[pu]	Excitor constant	1
Te	[s]	Excitor time constant	0.2
Kf	[pu]	Stabilization path gain	0.05
Tf	[s]	Stabilization path time constant	1.5
E1	[pu]	Saturation factor 1	3.9
Se1	[pu]	Saturation factor 2	0.1
E2	[pu]	Saturation factor 3	5.2
Se2	[pu]	Saturation factor 4	0.5
Vmin	[pu]	Controller output minimum	0
Vmax	[pu]	Controller output maximum	10

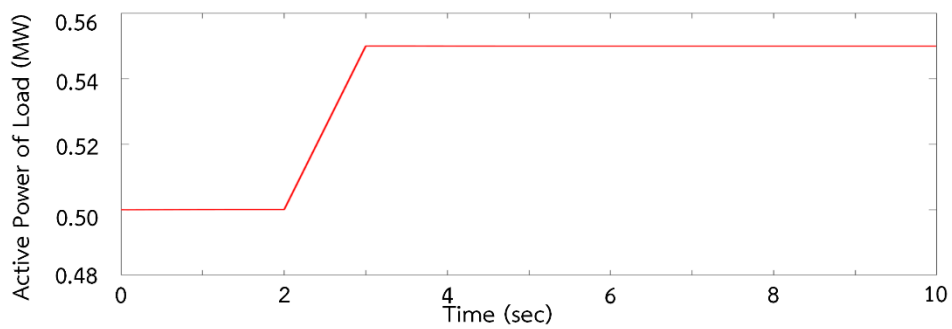
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.5 การจำลองการทำงานของส่วนควบคุมปฐมภูมิ (Primary Control) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

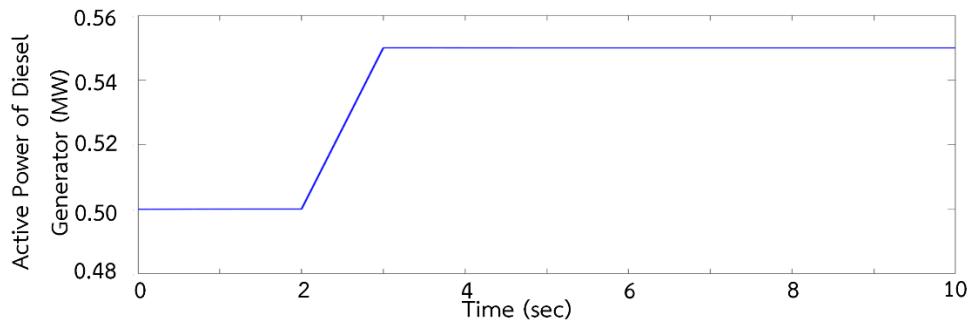
การวิเคราะห์การทำงานของส่วนควบคุมปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะใช้ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกจำลองด้วยโพลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง 10 เปอร์เซ็นต์ภายในระยะเวลา 1 วินาที โดยเริ่มการเปลี่ยนแปลงในวินาทีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 การควบคุมปฐมภูมิของกำลังไฟฟ้าจริงจะถูกกำหนดโดยรูปความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โดยตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักร (Governor) จะทำหน้าที่ในการควบคุมแรงบิดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เพื่อให้เกิดสมดุลย์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตกับโพลต์ที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ความถี่ในสภาวะคงตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นไปตามสมการที่ 3.1 เมื่อโพลต์มีการเปลี่ยนแปลงไป 0.05 pu หรือ 0.05 MW และรูปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีค่าเท่ากับ 0.05 pu ความถี่ของระบบจะเปลี่ยนแปลงไป 0.0025 pu หรือ 0.125 Hz ดังแสดงในรูปที่ 3.9



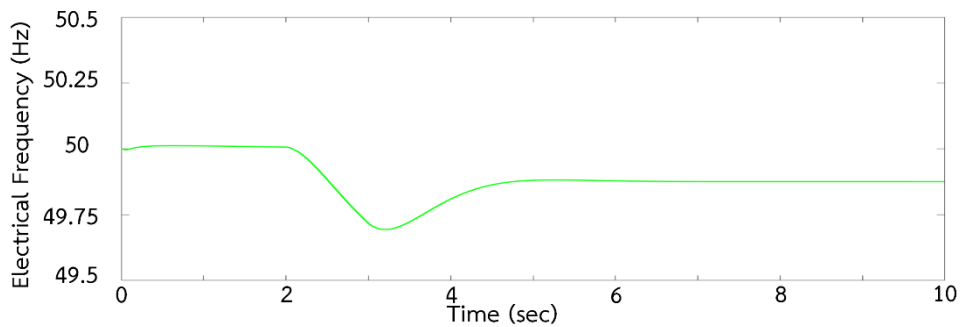
รูปที่ 3.6 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการทำงานของตัวควบคุมป้อนภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



รูปที่ 3.7 โหลดในระบบไฟฟ้าที่ใช้จำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



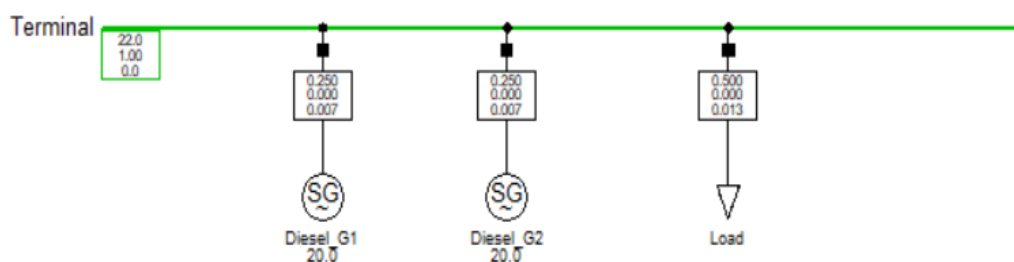
รูปที่ 3.8 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



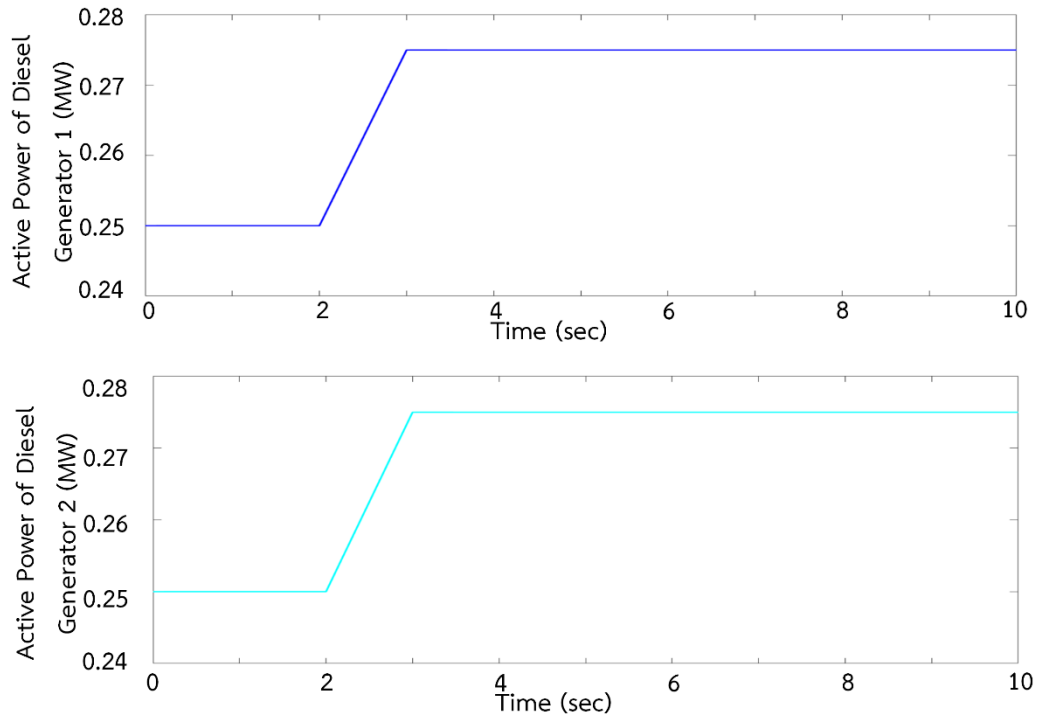
รูปที่ 3.9 ความถี่ไฟฟ้าของการจำลองการทำงานของตัวควบคุมป้อนภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

3.2.6 การจำลองการทำงานของตัวควบคุมปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อมีการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

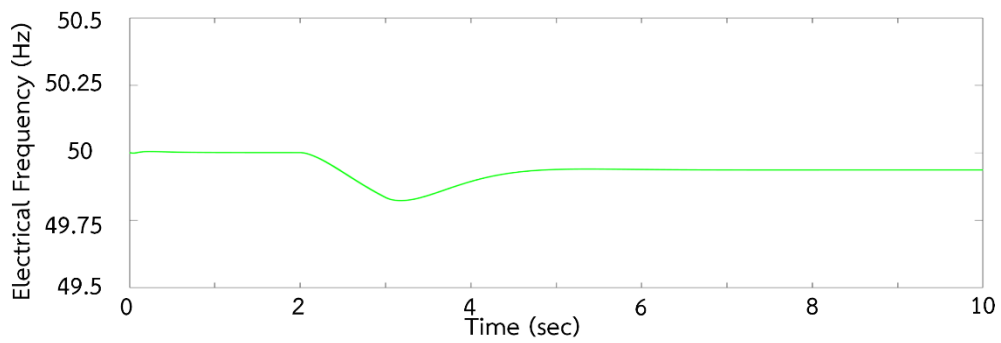
เพื่อวิเคราะห์การทำงานของตัวควบคุมปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อมีการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกจำลองด้วยโหลดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง 10 เปอร์เซ็นต์ภายในระยะเวลา 1 วินาที โดยเริ่มการเปลี่ยนแปลงในวินาทีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 การควบคุมปฏิกิริยาของกำลังไฟฟ้าจริงจะถูกกำหนดโดยद्रูปความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ตัวควบคุมความเร็วเครื่องจักร (Governor) จะทำหน้าที่ในการควบคุมแรงบิดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เพื่อให้เกิดสมดุลของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปโดยมีการแบ่งกันทำงานตามดรูปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปของระบบไฟฟ้าจะเป็นไปดงสมการที่ 3.1 ซึ่งมีค่า 0.00125 pu หรือ -0.0625 Hz ดงแสดงในรูปที่ 3.12 จากข้างต้นที่กล่าวมาจะได้การแบ่งการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.13



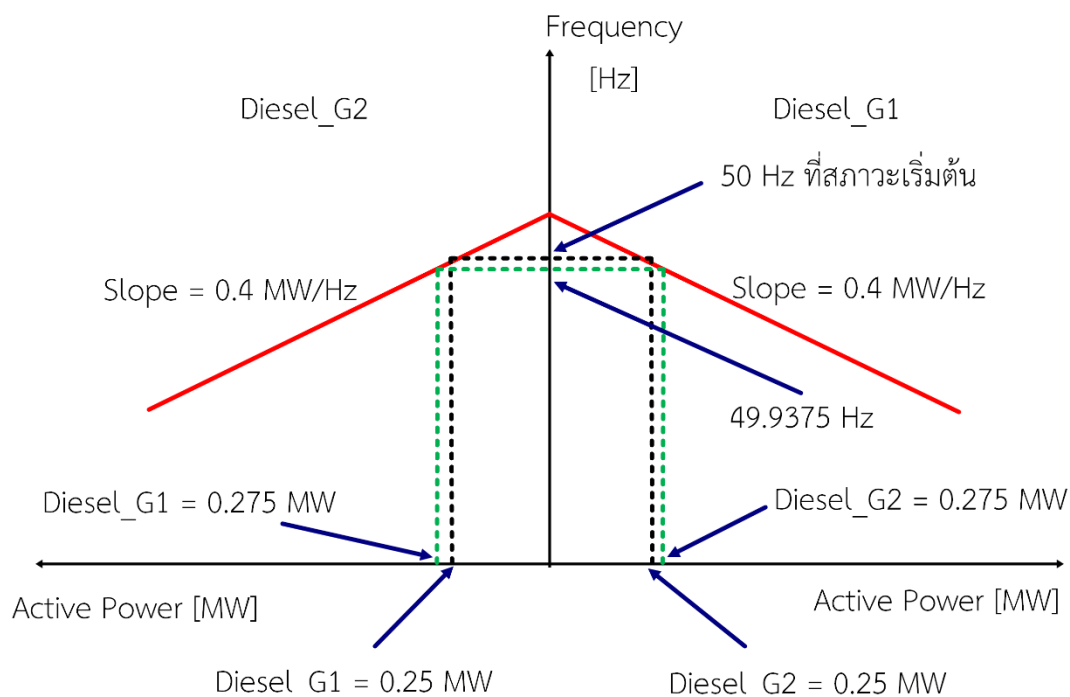
รูปที่ 3.10 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการทำงานเมื่อมีการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



รูปที่ 3.11 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแต่ละเครื่องเมื่อต่อขนานในระบบ



รูปที่ 3.12 ความถี่ไฟฟ้าของการจำลองการทำงานการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงจุดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

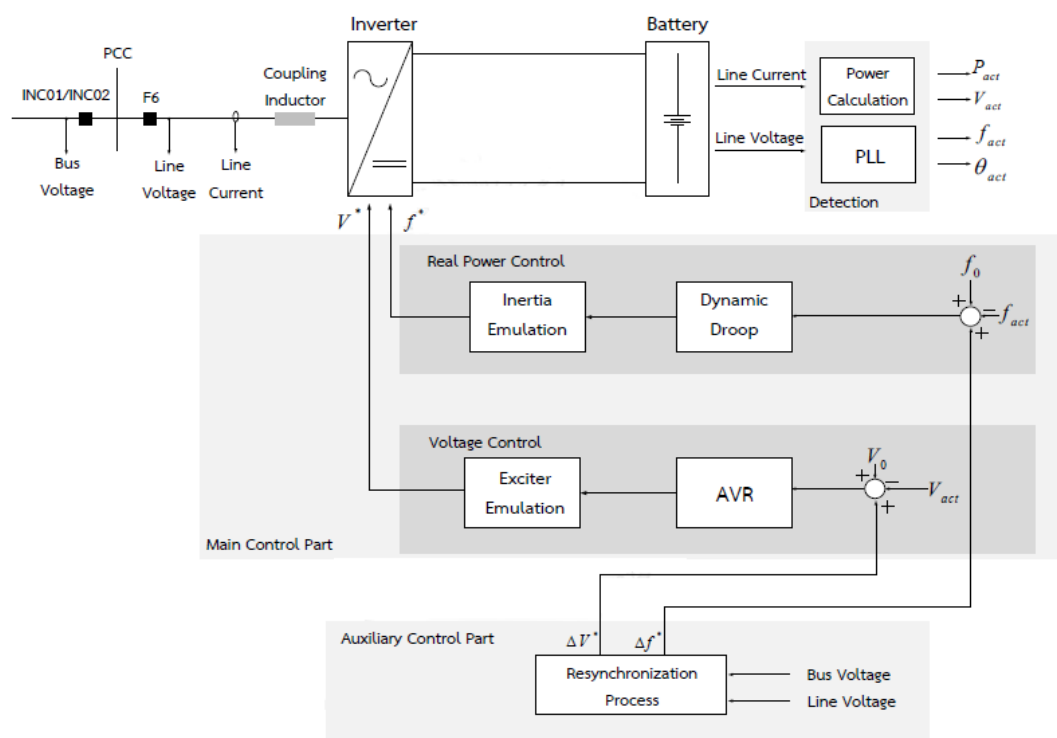
3.3 การควบคุมการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

จากรายงาน [1] การออกแบบระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ของอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (Battery Energy Storage System; BESS) เป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-Ion) ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 3 MW/1.5 MWh. โดยแบ่งโหมดการทำงานออกเป็น 3 โหมดได้แก่

- 1) โหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Grid-Connected Mode) ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะเชื่อมต่อกับโครงข่ายตลอดเวลาที่ความถี่และแรงดันปกติ โดยการควบคุมความถี่จะเป็นหน้าที่ของระบบไฟฟ้าหลัก โดยแบตเตอรี่จะทำหน้าที่ในส่วนของการทำงานแบบพร้อมจ่าย (Spinning Reserve)
- 2) โหมดการเปลี่ยนผ่านการทำงานจากโหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักไปเป็นโหมดแยกโดด ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะทำงานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักของระบบ เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่มีผลการตอบสนองที่รวดเร็ว สามารถทำหน้าที่ในการจัดตั้งโครงข่าย (Grid Forming) เมื่อทำงานในโหมดแยกโดดเพื่อรองรับการทำงานร่วมกันของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวอื่น ๆ ภายในไมโครกริด เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้ และโหมดการเปลี่ยนผ่านการทำงานจากโหมดแยกโดดไปเป็นโหมด

เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก หรือกระบวนการรีซิงโครไนซ์ เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะมีผลการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงสามารถช่วยในการเปลี่ยนผ่านการทำงานได้

- 3) โหมดแยกโดด ซึ่งจะใช้หลักการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ให้มีลักษณะสมบัติเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเสมือน ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการควบคุมแรงดันและความถี่ของระบบไฟฟ้า และเพื่อให้สามารถใช้ในการควบคุมดังกล่าวนี้ในการประสานการทำงานระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ได้สะดวก เนื่องจากมีความคล้ายคลึงกันกับการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบดั้งเดิมอีกด้วย



รูปที่ 3.14 การควบคุมคอนเวอร์เตอร์สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

รูปที่ 3.14 แสดงถึงวิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบไปด้วการทำงานและลักษณะสมบัติที่กล่าวไว้ โดยโครงสร้างของการควบคุมจะประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่

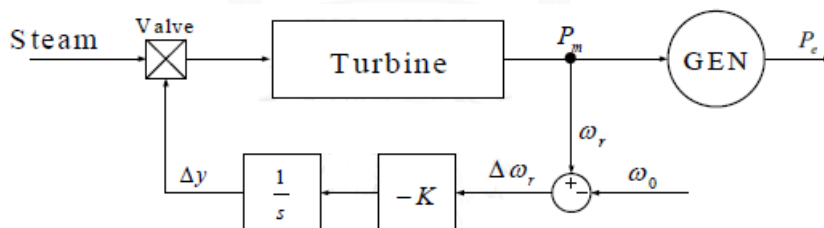
3.3.1 ส่วนควบคุมหลัก (Main Control Part)

ส่วนควบคุมหลักประกอบไปด้วยคุณลักษณะสมบัติการควบคุมแบบดรูปความเร็ว (Droop Characteristic) และลักษณะสมบัติความเฉื่อยทางกล (Inertia Emulation) ตามคุณลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ซึ่งเป็นชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power Control) ทำหน้าที่ปรับกำลังไฟฟ้าจริงให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดตามการเปลี่ยนของความถี่ในสถานะแยกโดด และในส่วนของ การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในส่วนควบคุมหลักประกอบไปด้วยการควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator; AVR) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ และตัวกระตุ้น (Exciter Emulation) สำหรับจำลองการทำงานของขดลวดกระตุ้นซึ่งมีลักษณะเลียนแบบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

3.3.1.1 การควบคุมค่ากำลังจริง (Real Power Control)

3.3.1.1.1 พลวัตของการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบไอโซโครนัส (Isochronous)

การควบคุมแบบไอโซโครนัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสที่มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดแสดงดังรูปที่ 3.15 การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานแบบไอโซโครนัสจะมีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ในการควบคุมความถี่ไฟฟ้าของระบบเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบมากกว่า 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้นการควบคุมที่จะใช้ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 1 เครื่องจึงจำเป็นต้องใช้การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบดรูปความเร็ว (Speed Droop Characteristic of Synchronous Generator) ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

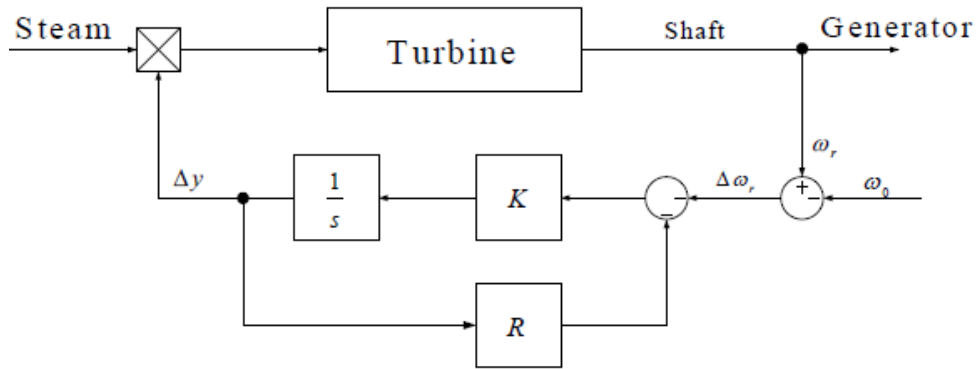


รูปที่ 3.15 การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบไอโซโครนัส [16]

3.3.1.1.2 พลวัตของการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบดรูปความเร็ว (Speed Droop Characteristic of Synchronous Generator)

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแบบดรูปความเร็วจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และกำลังจริงของระบบไฟฟ้า โดยหลักการคือให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วลดลงตามกราฟดรูปความเร็ว (Speed Droop Characteristic) เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวไม่เกิดการ

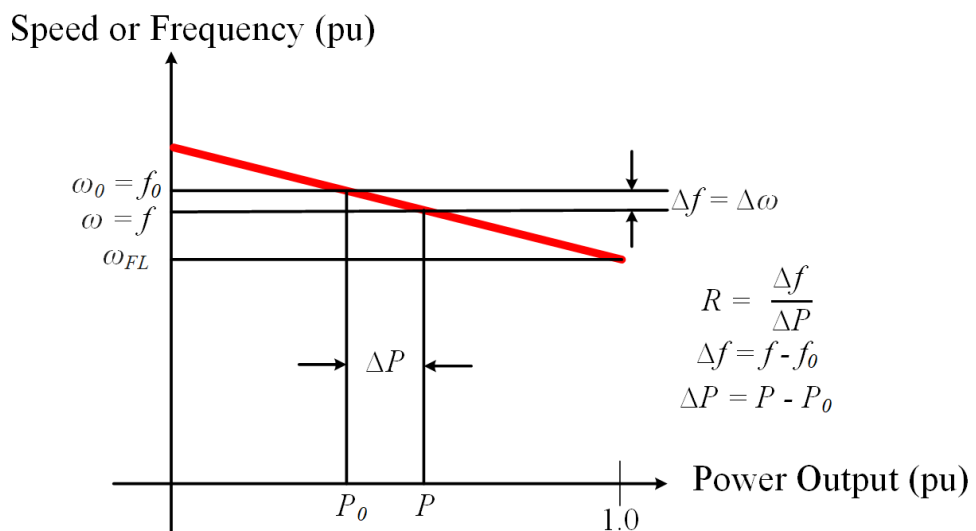
แข่งขันกันในการควบคุมความถี่ กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวที่จ่ายไฟฟ้าในระบบจะช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงตามแรงกระตุ้นความถี่ที่ได้ตั้งค่าไว้ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.16 ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบดรูปรูปความเร็ว [16]

การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบดรูปรูปความเร็วถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 3.16 โดยการควบคุมความเร็ว (Speed Regulation) จะถูกกำหนดโดยอัตราขยาย R ดังแสดงในสมการที่ 3.1 และกราฟคุณลักษณะดรูปรูปความเร็วแสดงในรูปที่ 3.17

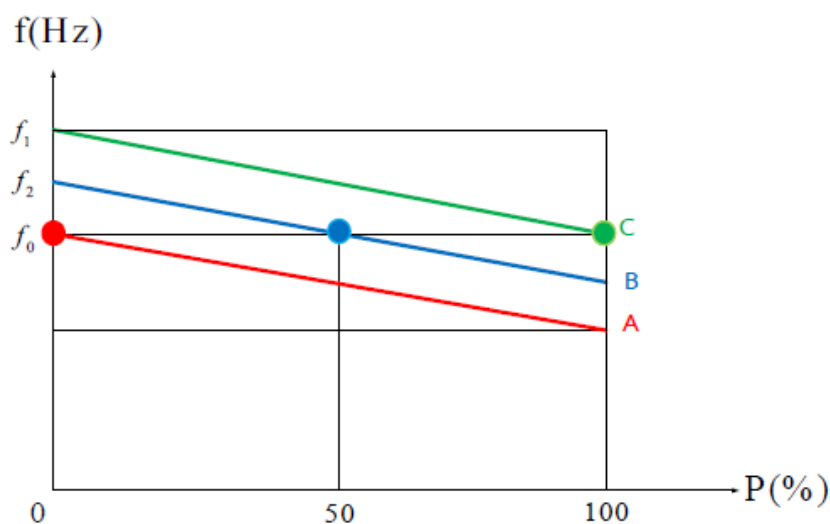
$$\% R = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_0} \times 100 \tag{3.1}$$



รูปที่ 3.17 กราฟคุณลักษณะดรูปรูปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสในสภาวะคงตัว

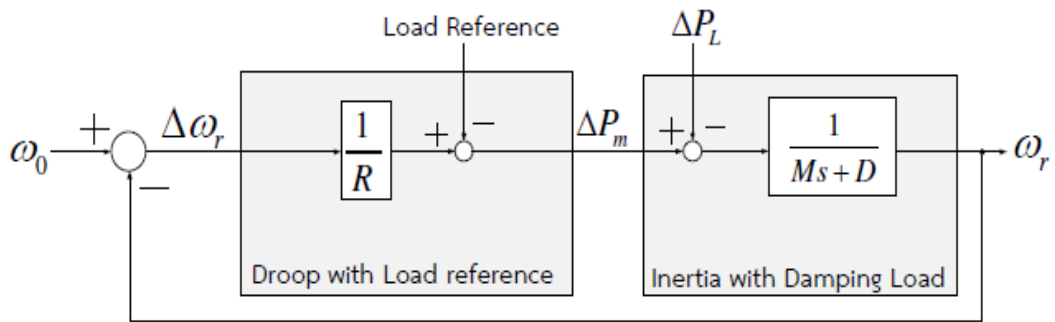
3.3.1.1.3 โหลดอ้างอิง (Load Reference)

ค่าโหลดอ้างอิง (Load Reference) เป็นการปรับค่าเริ่มต้นการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบ แบตเตอรี่โดยอ้างอิงมาจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โดยค่าโหลดอ้างอิงนั้นจะเป็น ส่วนของการควบคุมแบบทุติยภูมิ (Secondary Control) ของการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการกำหนดความสำคัญของการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้



รูปที่ 3.18 ลักษณะสมบัติของรูปความเร็วเมื่อมีการกำหนดค่าโหลดอ้างอิง

จากรูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าโหลดอ้างอิง พบว่าที่เส้นกราฟ A B และ C มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power Output) ต่างกันที่ความถี่ฐาน (f_0) โดยเส้นกราฟ C จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงที่ 100 % ของพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในขณะที่เส้นกราฟ B จ่ายกำลังเพียง 50 % ของพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกราฟ A ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง จึงกล่าวได้ว่าเส้นกราฟ C จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ไวที่สุด ในขณะที่เส้นกราฟ A จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดช้าที่สุด การกำหนดค่าโหลดอ้างอิงช่วยกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามต้องการ ณ ที่ค่าความเร็วหนึ่ง ๆ ทำให้เราสามารถประยุกต์ คุณสมบัติ ดังกล่าว มาทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานแบบพร้อมจ่าย (Spinning Reserve) ได้อีกด้วย โดยการควบคุมกำลังจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.19



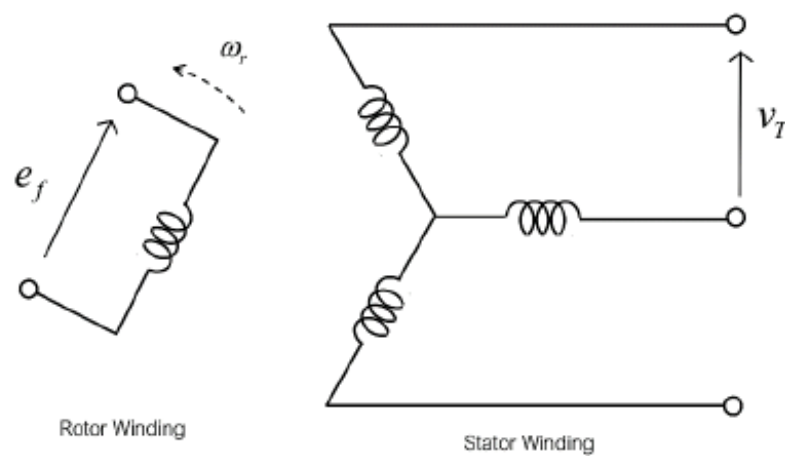
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การควบคุมกำลังจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ ซิงโครนัสที่ใช้การควบคุมแบบดรูปรูปความเร็วและลักษณะความเฉื่อยทางกล

3.3.1.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Control)

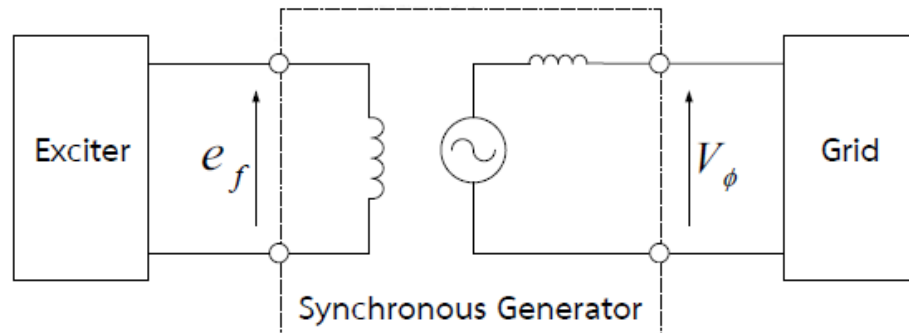
ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรีประกอบด้วยตัวควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator; AVR) และตัวกระตุ้น (Exciter Emulation) ซึ่งเลียนแบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โดยจะปรับค่ากระแสสนาม เพื่อควบคุมแรงดันด้านออกของขดลวดอาร์เมเจอร์ที่เชื่อมต่อกับบัส

3.3.1.2.1 แบบจำลองทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

วงจรมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสประกอบด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ 3 เฟส ทางด้านสเตเตอร์ และขดลวดสนามทางด้านโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 เมื่อพิจารณาเฉพาะวงจรมุมต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.21 โดยวงจรทางด้านขดลวดสเตเตอร์จะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ในขณะที่วงจรมุมทางด้านโรเตอร์จะเชื่อมต่อกับตัวกระตุ้น (Exciter) ที่ทำหน้าที่ป้อนกระแสสนามให้กับขดลวดสนาม



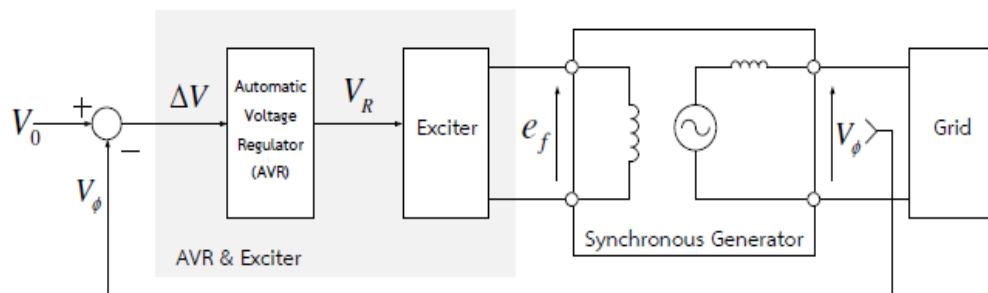
รูปที่ 3.20 วงจรมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส



รูปที่ 3.21 วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

3.3.1.2.2 การควบคุมแรงดันด้วยตัวควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator; AVR) และตัวกระตุ้น (Exciter)

โดยปกติการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่ใช้การควบคุมแบบตรงรูปความเร็วเหมือนการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง แต่จะใช้โครงสร้างการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.22 โดยมีการทำงานดังนี้คือ ตัวกระตุ้น (Exciter) และตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (AVR) ตัวกระตุ้นจะมีหน้าที่ขยายกำลังสำหรับขดลวดสนาม การทำงานของระบบควบคุมแรงดันอัตโนมัติดังกล่าวมีการกำหนดโครงสร้างตัวควบคุม เพื่อวัตถุประสงค์ไม่ให้เกิดการแข่งขันกันควบคุมแรงดันที่จุดเชื่อมต่อเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่มากกว่า 1 เครื่อง

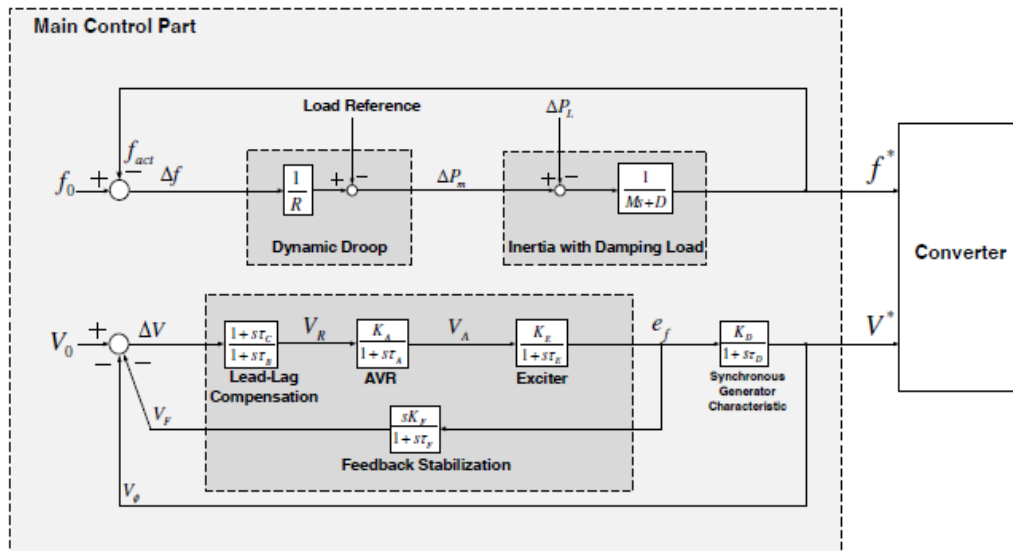


รูปที่ 3.22 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

3.3.1.3 การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ให้มีลักษณะสมบัติเสมือนการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ให้มีลักษณะสมบัติเสมือนการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โดยแบ่งการควบคุมออกเป็น การควบคุมความถี่และการควบคุมแรงดันไฟฟ้า โดยการควบคุมความถี่ที่ส่งให้คอนเวอร์เตอร์จะผ่านตัวควบคุมความถี่ที่ทำงานในลักษณะตรงความเร็วซึ่งเปรียบเสมือนการ

ควบคุมแบบป้อนกลับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส การรับค่าโหลดอ้างอิงจากการควบคุมแบบหัตถิ
ภูมิ และลักษณะสมบัติความเฉื่อยทางกล ทำให้คอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับระบบกักเก็บพลังงาน
แบบเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายมีลักษณะสมบัติเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือนดังแสดงการ
ควบคุมของชุดควบคุมได้ในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การควบคุมแรงดันและความถี่ไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

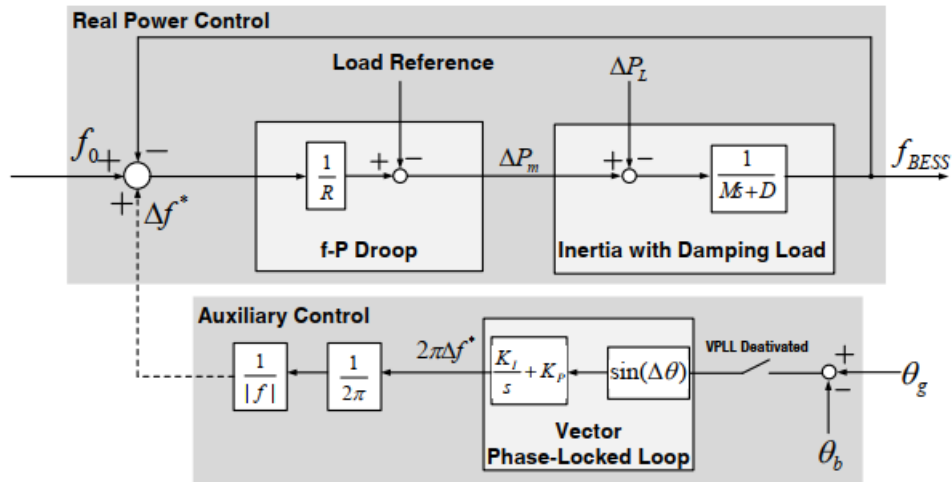
3.3.1.4 การควบคุมแบบประสานงานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอร์

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอร์มีการควบคุมการทำงานแบบเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเสมือน โดยการใช้การควบคุมความถี่ในลักษณะคุณสมบัติของรูปความเร็วจึงมีการ
ทำงานที่สอดคล้องกับการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเดิม ทำให้สามารถใช้การควบคุมเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอร์ให้ทำงานประสานกันได้ไม่ว่าการทำงานแบบ
แยกโดด การควบคุมแบบประสานงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงาน
แบบเตอร์จะช่วยในการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าของไมโครกริดในสภาวะ
แยกโดดให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.2 ส่วนควบคุมรอง

ส่วนควบคุมรองจะเป็นส่วนที่ช่วยในการทำงานของโหมดการเปลี่ยนผ่านจากโหมดแยกโดด
ไปเป็นโหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก การทำงานของส่วนควบคุมนี้จะอาศัยการปรับความถี่ มุม
เฟส และขนาดแรงดันที่จุดเชื่อมต่อให้มีค่าใกล้เคียงกับระบบไฟฟ้าหลัก โดยการปรับจุดการทำงาน

ของระบบแบตเตอรี่ จากรูปที่ 3.24 แสดงถึงส่วนประกอบของส่วนควบคุมของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่



รูปที่ 3.24 ส่วนควบคุมของระบบควบคุมการรีซิงโครไนซ์ไมโครกริด

3.4 การควบคุมทุติยภูมิ (Secondary control)

ในการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้า ส่วนควบคุมแบบปฐมภูมิได้แก่ ส่วนควบคุมแบบตรงรูปความเร็วจะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ โดยส่วนควบคุมแบบปฐมภูมิเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำให้ความถี่กลับมาสู่ค่าปกติได้ การคืนค่าความถี่ให้กลับมาสู่ค่าปกติจำเป็นต้องอาศัยการควบคุมเพิ่มเติมในส่วนของการควบคุมทุติยภูมิซึ่งจะปรับจูนอ้างอิงกำลังไฟฟ้า การควบคุมทุติยภูมิจะควบคุมความถี่โดยการปรับกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การควบคุมทุติยภูมิจะช้ากว่าการควบคุมปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการชดเชยความถี่เบี่ยงเบนจะทำหลังจากการควบคุมปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้ความถี่ไฟฟ้าคงที่แล้ว การควบคุมทุติยภูมิของวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัยการควบคุมทุติยภูมิโดยการควบคุมความถี่โหลด (Load frequency control)

3.4.1 หลักการของการควบคุมความถี่โหลด

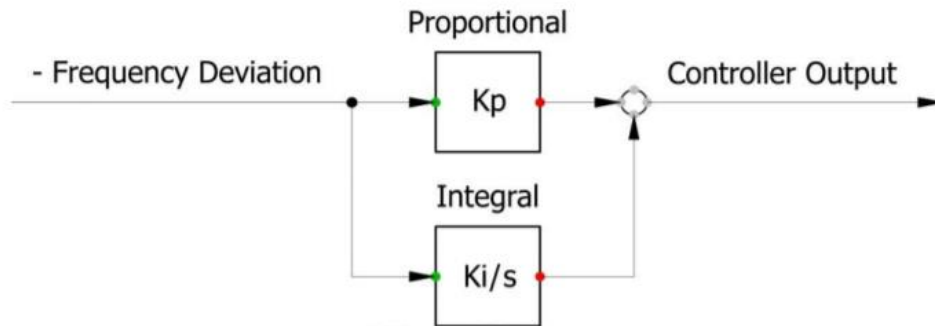
การควบคุมควบคุมแบบทุติยภูมิโดยวิธีการควบคุมความถี่โหลดมีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบจากความผันของโหลดที่มีต่อค่าความถี่ไฟฟ้าภายในไมโครกริดที่ทำงานในโหมดแยกโดด และเพื่อให้ความถี่เบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวให้มีค่าเป็นศูนย์ การควบคุมความถี่โหลดอาศัยหลักการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) โดยทำการตรวจจับความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนของระบบมาเป็นสัญญาณป้อนเข้า มาเป็นคำสั่งในส่วนควบคุมแบบทุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่สำหรับชดเชยกำลังไฟฟ้าจริงเข้าสู่ระบบเพื่อควบคุมความถี่ไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่ กฟภ. กำหนด [31]

ระบบไฟฟ้าหลักโดยปกติแล้วจะใช้การควบคุมความถี่ไหลด้วยโรงไฟฟ้าในการควบคุมความถี่ไฟฟ้าของระบบ ส่วนในระบบไมโครกริดแบบแยกโดดที่มีความถี่ต่ำนั้น ความผันผวนของไหลจะมีผลกระทบอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบไฟฟ้า อีกทั้งไมโครกริดแม่สะเรียงที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ตั้งที่กล่าวมาข้างต้นจะมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดที่มีความผันผวนสูงจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเข้าระบบในสัดส่วนที่สูงมาก (4 MW) เมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลทั้งหมดที่มีกำลังผลิตรวม 5 MW จึงจำเป็นต้องใช้การควบคุมความถี่ไหลด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริร่วมด้วยเนื่องจาก ระบบแบบเตอริมีค่าเวลาตอบสนองที่รวดเร็วกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลซึ่งจำเป็นต้องออกแบบการควบคุมความถี่ไหลด้วยระบบแบบเตอริไม่ให้งานมากเกินความจำเป็นเพื่อให้ระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอในโหมดการทำงานแบบแยกโดด แนวทางการออกแบบการควบคุมแบบทุติยภูมิโดยการควบคุมความถี่ไหลด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

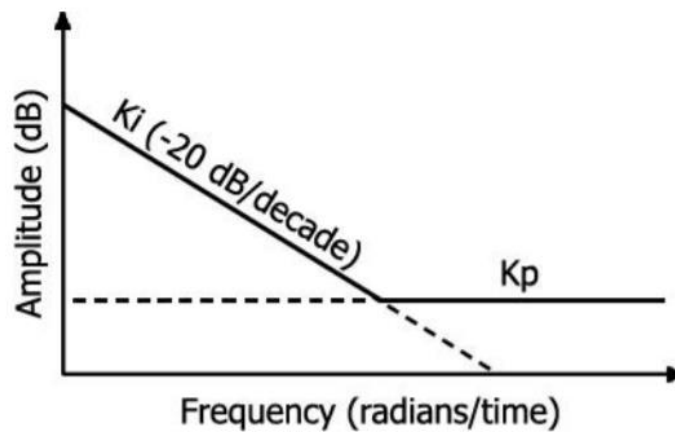


3.4.2 แนวทางการออกแบบการควบคุมความถี่ไหล

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวทางการควบคุมแบบทุติยภูมิโดยการควบคุมความถี่ไหลด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริ โดยการใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลในการปรับค่าสัญญาณความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนที่ตรวจวัดมาจากระบบไฟฟ้ามาป้อนให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งในที่นี้คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริ โดยอาศัยการปรับตั้งค่าคงตัวเวลาสัญญาณควบคุมความถี่ไหลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริให้มีค่าต่างกันเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานช่วยกันแบ่งหน้าที่การทำงาน การกำหนดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะกำหนดค่าคงตัวเวลาให้มีค่าสูงกว่าระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลรับผิดชอบการจ่ายกำลังไฟฟ้าในส่วนที่มีความผันผวนต่ำ ในส่วนของระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอริจะรับผิดชอบเฉพาะในส่วนที่มีความผันผวนสูงเพื่อให้ขนาดความจุของแบบเตอริมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น โดยความถี่ของระบบไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟผ. การควบคุมแบบทุติยภูมิโดยการควบคุมความถี่ไหลด้วยตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลสำหรับป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล แสดงในรูปแบบที่ 3.25 และผลตอบสนองของตัวควบคุมดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.26 ตามลำดับ



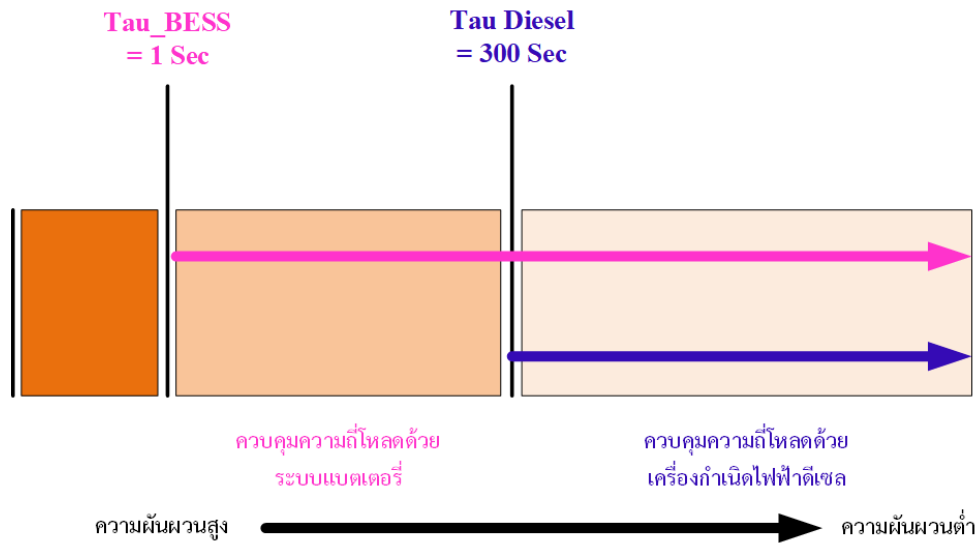
รูปที่ 3.25 การควบคุมแบบหตุติยภูมิโดยการควบคุมความถี่ไหลดด้วยตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล



รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองของควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

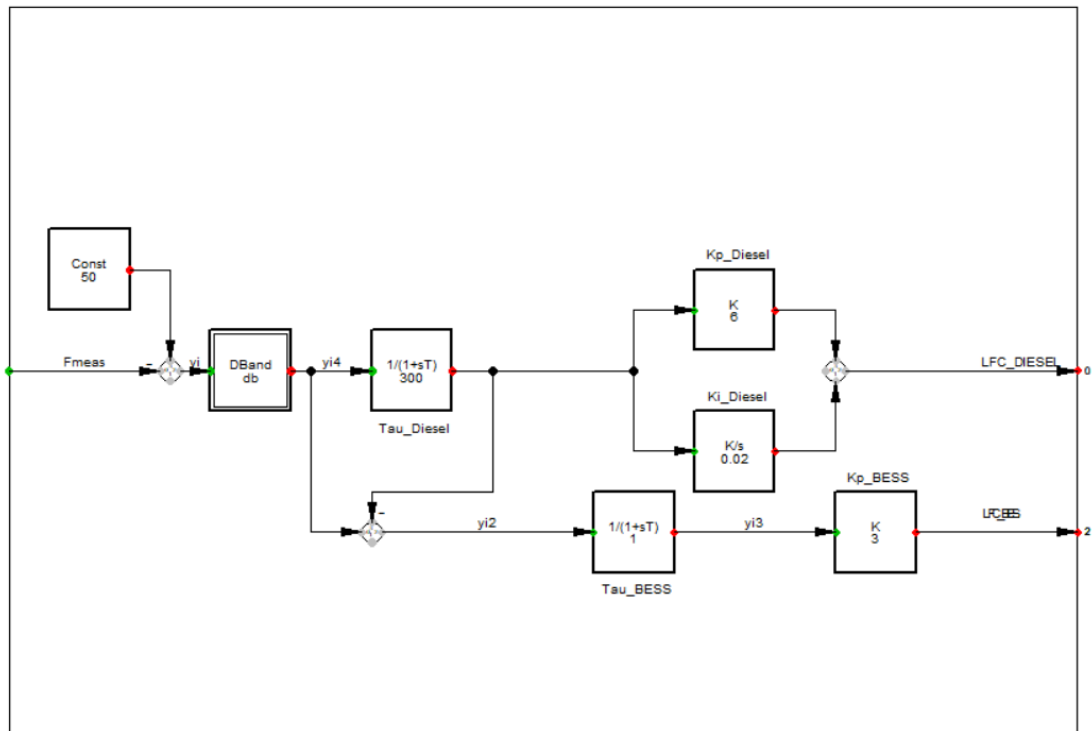
จากออกการแบบที่กล่าวมาข้างต้นนั้นโดยการอาศัยการทำงานร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบหตุติยภูมิโดยการควบคุมความถี่ไหลดนั้น จะแสดงจุดการทำงานของการควบคุมความถี่ไหลดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ภาพรวมจุดการทำงานการควบคุมความถี่ไหลดด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ แต่นอกเหนือจากค่าคงตัวเวลาที่กำหนดสำหรับการควบคุมความถี่ไหลดในการแบ่งย่านความถี่ให้เหมาะสมแล้วนั้น ก็ยังมีผลจากการกำหนดพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอีกด้วย แต่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่ได้อีกกล่าวถึงผลการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบอินทิกรัล



รูปที่ 3.27 ภาพรวมจุดการทำงานการควบคุมความถี่โหดด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

3.4.3 แบบจำลองการควบคุมทุติยภูมิ

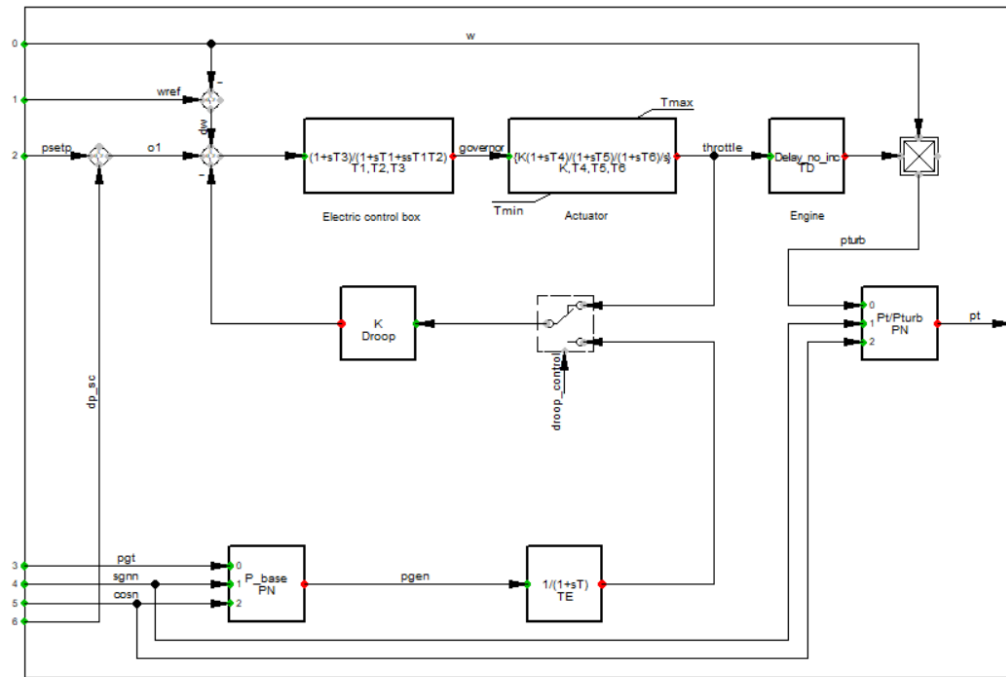
แบบจำลองการควบคุมทุติยภูมิแสดงดังรูปที่ 3.28 หลักการทำงานของ การควบคุมทุติยภูมิ จะอาศัยการตรวจวัดความถี่ของระบบไฟฟ้ามาเทียบกับความถี่ปกติ (50 Hz) จากนั้นจะตรวจสอบว่าความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเกิน 0.02 Hz หรือไม่ผ่านแถบไร้ผลตอบสนอง (Dead band) เมื่อพบว่าความถี่เบี่ยงเบนเกิน 0.02 Hz จะส่งสัญญาณผ่านส่วนควบคุมแบบสัดส่วนและส่วนควบคุมแบบอินทิกรัลเพื่อส่งสัญญาณ “LFC_DIESEL” ไปยังตัวควบคุมเครื่องจักร (Governor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลผ่านแบบจำลองควบคุมเครื่องจักรที่ได้ถูกดัดแปลงให้รองรับการควบคุมแบบทุติยภูมิผ่านสัญญาณขาเข้าที่มีชื่อว่า “dp_sc” ดังแสดงในรูปที่ 3.29 และส่งสัญญาณผ่านตัวควบคุมแบบสัดส่วนเพื่อส่งสัญญาณ “LFC_BESS” ไปยังระบบควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ผ่านสัญญาณขาเข้าที่มีชื่อว่า “dp_sc” ดังแสดงในรูปที่ 3.30 โดยค่าคงตัวของเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะถูกตั้งค่าให้มีค่าสูงกว่า ค่าคงตัวของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ซึ่งจะส่งผลให้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะทำงานในส่วนที่มีความผันผวนสูง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะทำงานในส่วนที่มีความผันผวนต่ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงของระบบที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวเนื่องจากมีตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจากการควบคุมแบบทุติยภูมิ



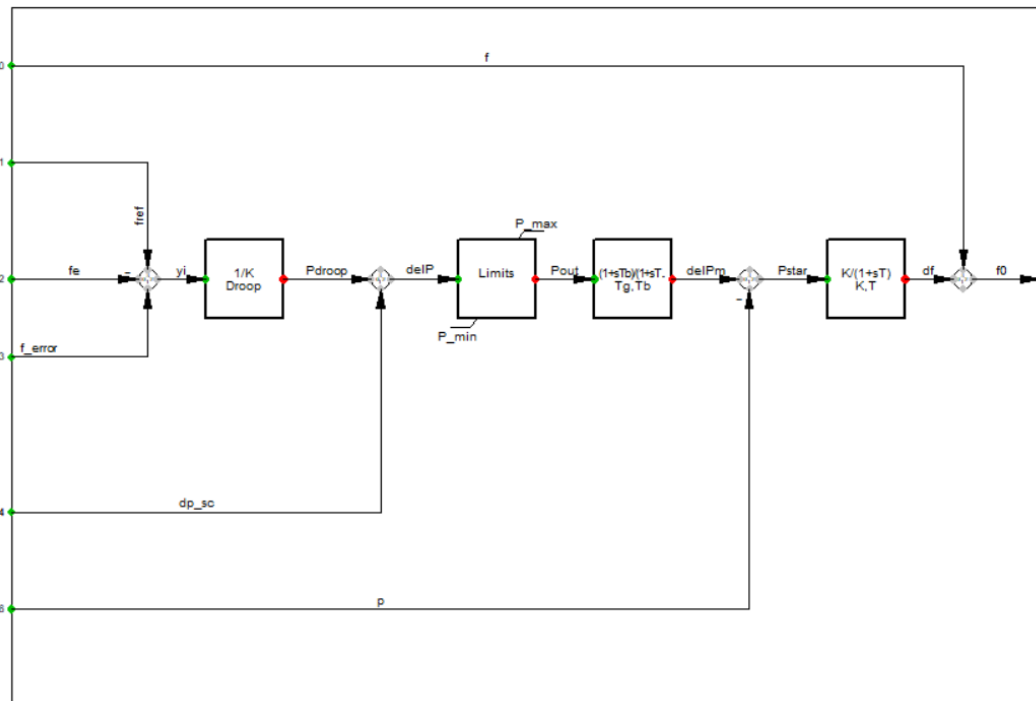
รูปที่ 3.28 แบบจำลองการควบคุมหตุติยภูมิ

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองการควบคุมหตุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

Parameters	Units	Description	Values
db	[Hz]	Dead band	0.02
Tau_Diesel	[s]	Response time constant of Diesel	300
Tau_BESS	[s]	Response time constant of BESS	1
Kp_Diesel	[pu]	Proportional gain of LFC_Diesel	6
Ki_Diesel	[pu]	Integral gain of LFC_Diesel	0.02
Kp_BESS	[pu]	Proportional gain of LFC_BESS	3



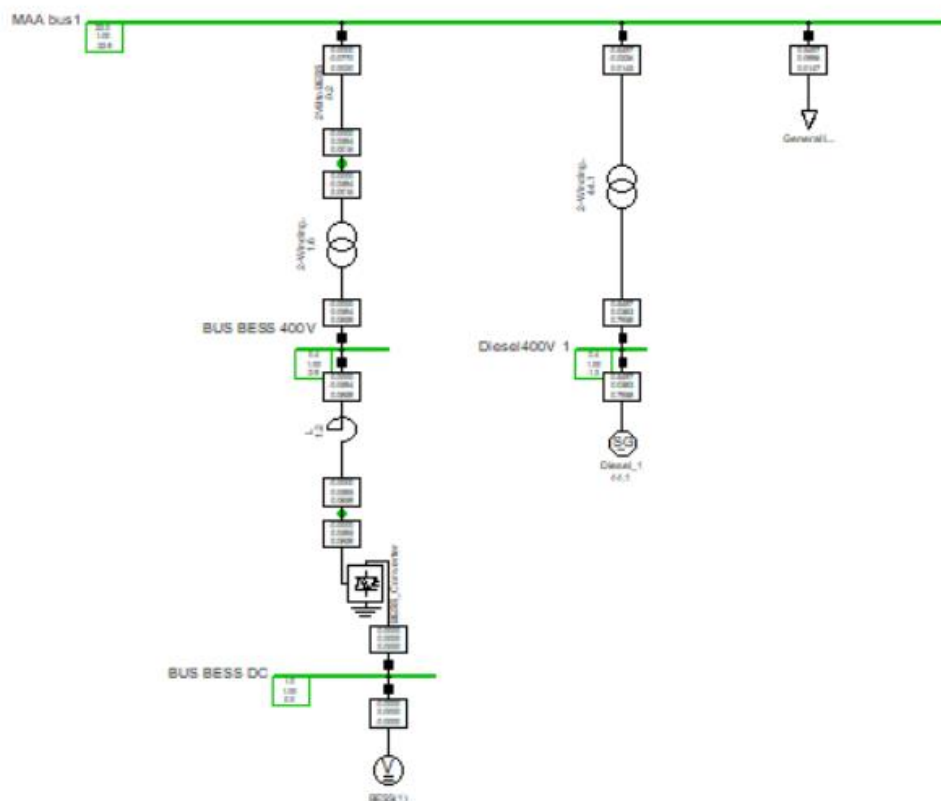
รูปที่ 3.29 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ตัดแปลงสำหรับรองรับการควบคุมแบบทุติยภูมิ



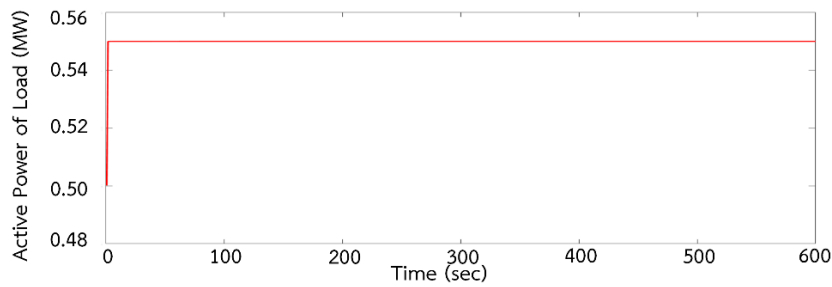
รูปที่ 3.30 แบบจำลองการควบคุมความถี่ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่รองรับการควบคุมแบบทุติยภูมิ

3.4.4 การจำลองการควบคุมทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

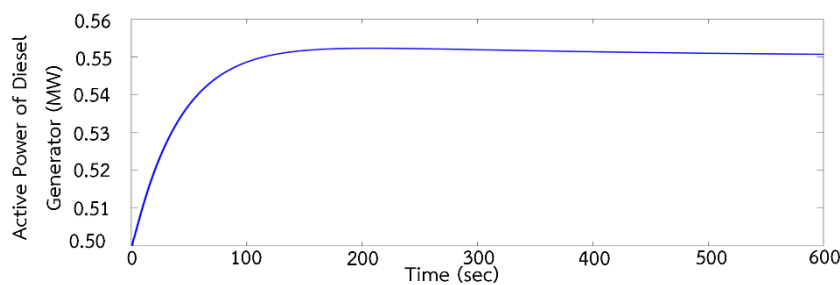
การทำงานของส่วนควบคุมทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะใช้ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.31 การจำลองนี้จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริงของโหลด 10 เปอร์เซ็นต์ภายในระยะเวลา 1 วินาที โดยเริ่มการเปลี่ยนแปลงในวินาทีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.32 จะเห็นว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงการควบคุมปฐมภูมิตามการทำงานของระบบควบคุมแบบดรอปก่อนดังแสดงในรูปที่ 3.33 และรูปที่ 3.34 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะปกติกำลังไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะมีค่าเท่าเดิม ส่วนกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของโหลด จากรูปที่ 3.35 แสดงให้เห็นว่าความถี่ของระบบจะกลับมาที่ค่าปกติและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความต้องการของโหลด



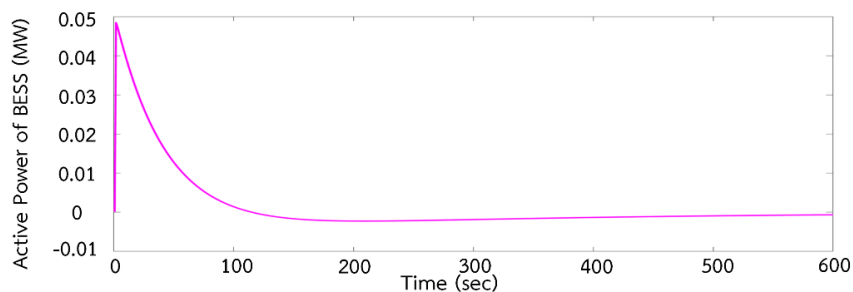
รูปที่ 3.31 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการควบคุมแบบทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่



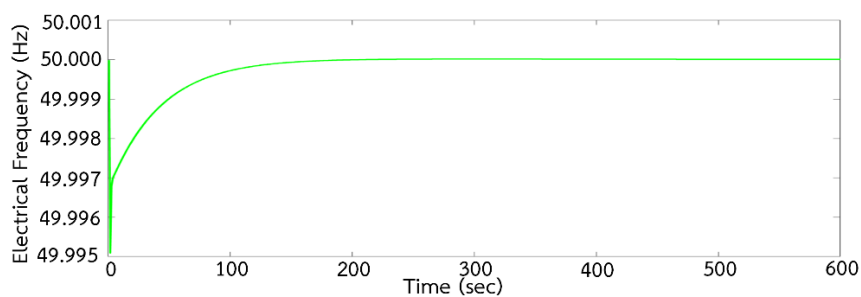
รูปที่ 3.32 กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด เมื่อจำลองการควบคุมหตุติภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่



รูปที่ 3.33 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เมื่อจำลองการควบคุมหตุติภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่



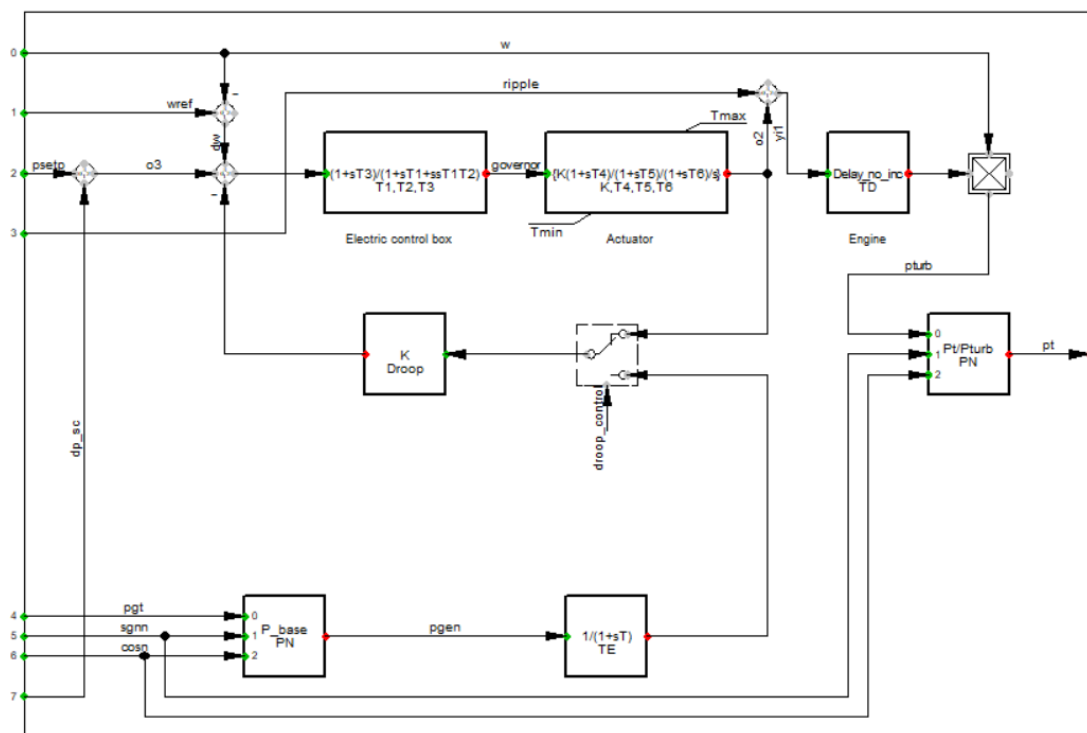
รูปที่ 3.34 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เมื่อจำลองการควบคุมหตุติภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่



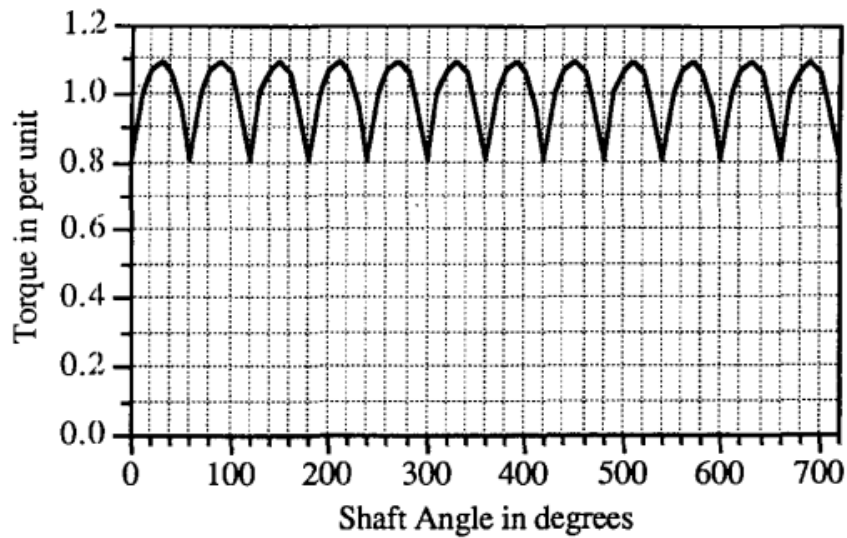
รูปที่ 3.35 ความถี่ไฟฟ้า เมื่อจำลองการควบคุมหตุติภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

3.5 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อพิจารณาผลของระลอกแรงบิดจากการทำงานของกระบอกสูบ

จากงานวิจัยที่ [29] ที่ได้กล่าวถึงไปข้างต้นเกี่ยวกับการเกิดระลอกแรงบิดจากการทำงานของกระบอกสูบในงานวิจัยนี้จึงได้นำปัญหาในส่วนนั้นมาสร้างแบบจำลองเพิ่มเติมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลให้สร้างแรงบิดระลอกคลื่นดังกล่าวโดยมีแบบจำลองที่ดัดแปลงดังแสดงในรูปที่ 3.36 เพื่อนำมาวิเคราะห์ว่าระลอกคลื่นแรงบิดจะส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบไฟฟ้าอย่างไรบ้าง และหาวิธีช่วยลดผลกระทบของระลอกคลื่นแรงบิดด้วยการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ผ่านการปรับความถี่ของระบบกักเก็บพลังงาน และการชดเชยความถี่เบี่ยงเบนด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่โดยอาศัยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลนำมาสร้างสัญญาณชดเชยความถี่เบี่ยงเบนที่เกิดจากระลอกคลื่นของแรงบิด ระลอกคลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ [29] โดยมีลักษณะปริมาณแรงบิดเมื่อเทียบกับมุมของของเพลาดังแสดงในรูปที่ 3.44

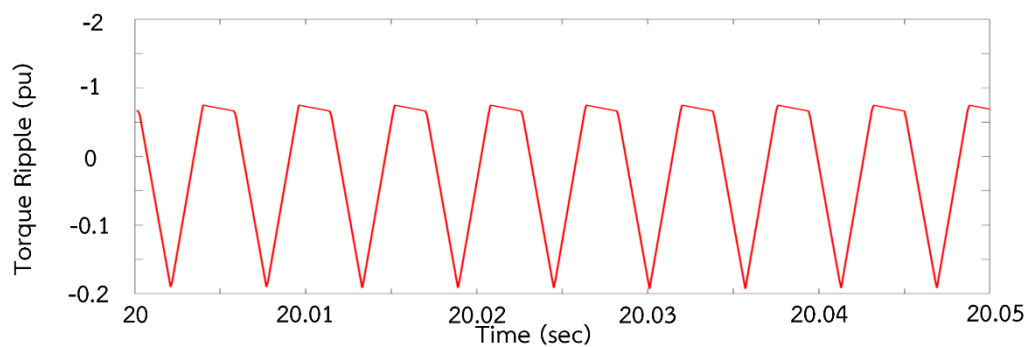


รูปที่ 3.36 แบบจำลองตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ดัดแปลงสำหรับรองรับการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิ และพิจารณาผลระลอกแรงบิด

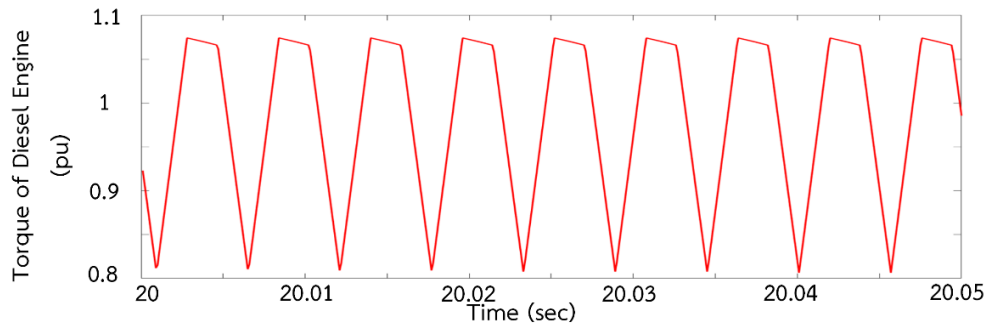


รูปที่ 3.37 แรงบิดที่เกิดจากการทำงานของกระบอกสูบ [29]

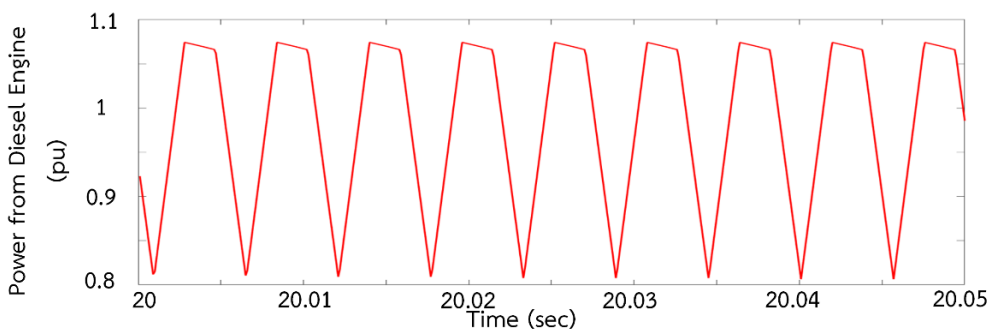
สัญญาณระลอกคลื่นแรงบิด (Torque ripple) ที่เพิ่มเข้ามาในแบบจำลองของตัวควบคุมเครื่องจักรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล อาศัยข้อมูลของแรงบิดในดังแสดงในรูปที่ 3.37 มาปรับเทียบเป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเวลา โดยสัญญาณระลอกคลื่นแรงบิดแสดงในรูปที่ 3.38 เมื่อรวมกับสัญญาณแรงบิดเดิมที่เกิดจากตัวควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล จะได้สัญญาณแรงบิดที่พิจารณาผลของการเกิดระลอกคลื่นแรงบิดดังแสดงในรูปที่ 3.39 เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องยนต์ดีเซลที่นำไปป้อนให้เพลาขับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแสดงดังรูปที่ 3.40 จะส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงบิดดังแสดงในรูปที่ 3.41 และ รูปที่ 3.42 ตามลำดับ



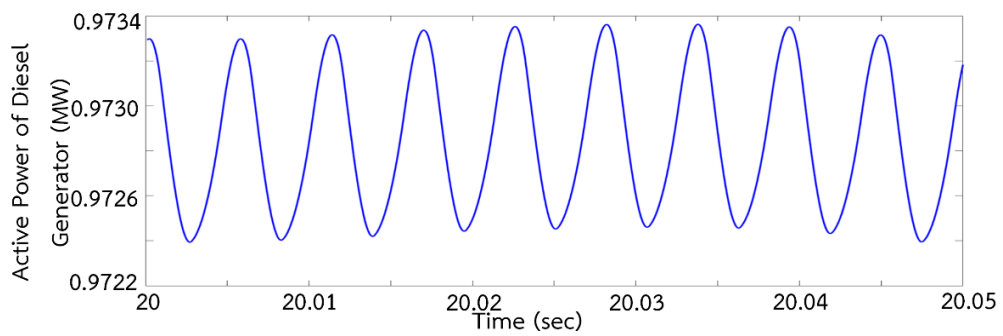
รูปที่ 3.38 สัญญาณระลอกคลื่นแรงบิดเมื่อเทียบกับเวลา



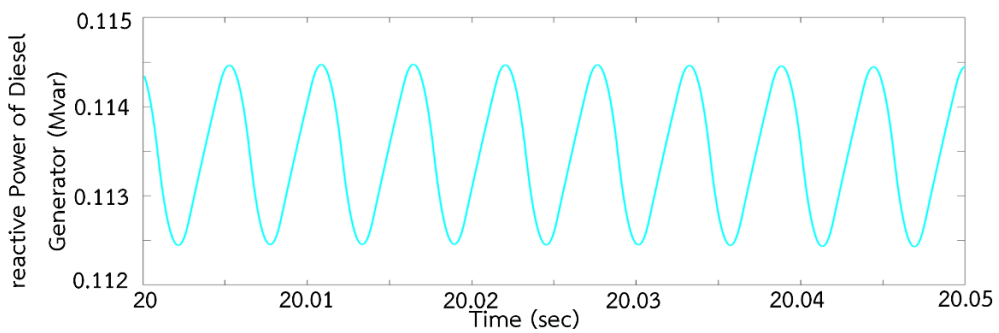
รูปที่ 3.39 แรงบิดของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อพิจารณาการเกิดระลอกคลื่น



รูปที่ 3.40 กำลังไฟฟ้าที่ไปป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



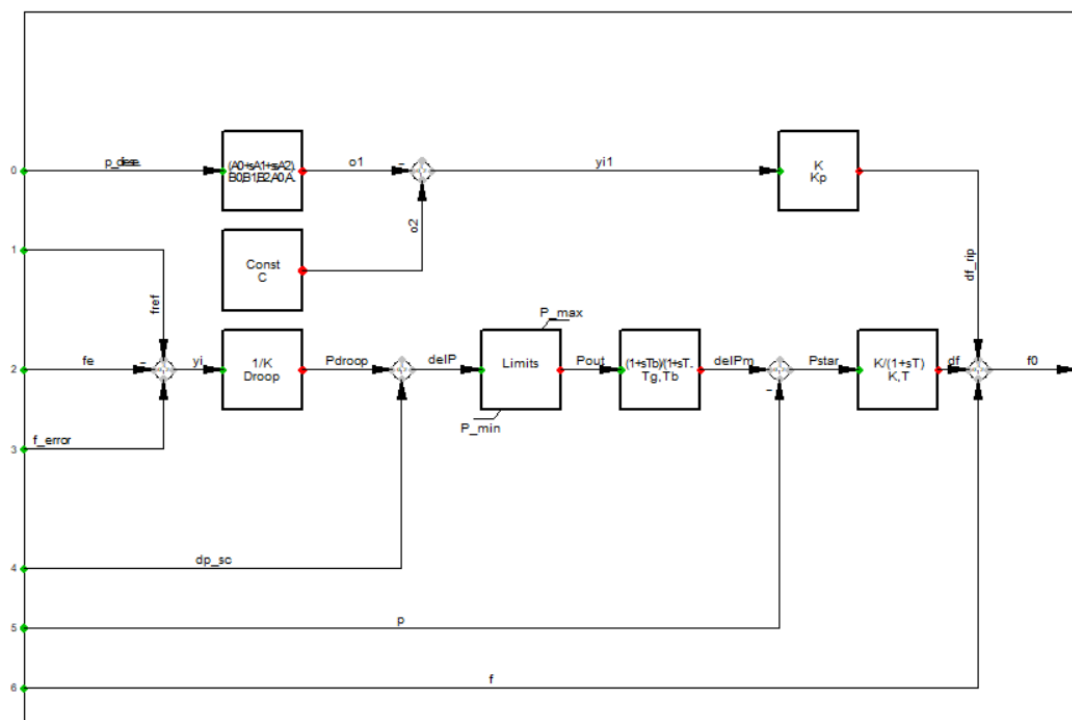
รูปที่ 3.41 กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล



รูปที่ 3.42 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

3.6 แบบจำลองของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เมื่อเพิ่มวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter)

จากข้างต้นที่ได้กล่าวถึงวิธีการลดผลกระทบของระลอกแรงบิดด้วยการชดเชยความถี่ เบี่ยงเบนโดยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแบบจำลองเพิ่มเติมในส่วนของการชดเชยความถี่เบี่ยงเบน แบบจำลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงในรูปที่ 3.43 การชดเชยความถี่เบี่ยงเบนอาศัยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจะเกิดระลอกคลื่นความถี่ซึ่งสามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบจากค่าระลอกคลื่นแรงบิดมาตรฐานจากงานวิจัย [29] ระลอกคลื่นที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลของไมโครกริดแม่สะเรียงนี้จะมีค่าความถี่ของระลอกคลื่นอยู่ที่ประมาณ 178 Hz ภายในแบบจำลองจึงได้สร้างวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) จากฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ดังสมการที่ 3.2 แบบจำลองจะรับสัญญาณกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลผ่านวงจรกรองความถี่ผ่านแถบจากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P-Controller) จากนั้นจะได้สัญญาณชดเชยความถี่เบี่ยงเบนจากการเกิดระลอกคลื่นแรงบิดเพื่อไปป้อนให้กับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ วงจรกรองความถี่ผ่านแถบที่ออกแบบจะใช้พารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.43 แบบจำลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เมื่อเพิ่มสัญญาณควบคุมทุติยภูมิ

$$H(s) = \frac{B_w s}{s^2 + B_w + \omega_0^2}, s = j\omega \quad (3.2)$$

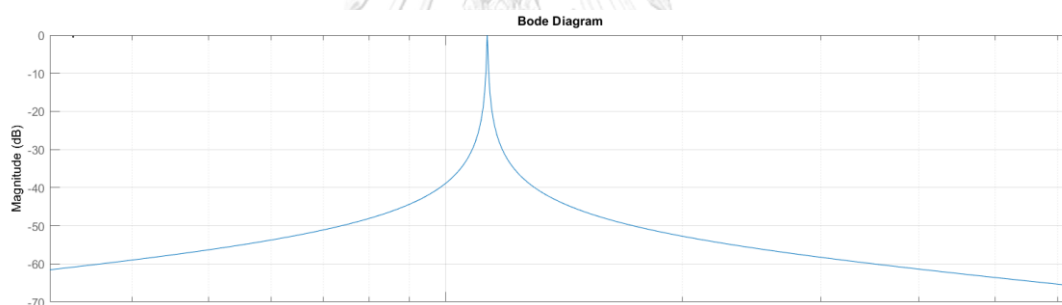
B_w = แถบความกว้างของความถี่กรองผ่าน

ω_0 = จุดศูนย์กลางแถบความถี่กรองผ่าน

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของวงจรรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter)

Parameters	Values
B_w	6.28
ω_0	1249566

จากพารามิเตอร์ของวงจรรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) ที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่ามีผลการตอบสนองความถี่ดังแสดงในรูปที่ 3.44 วงจรรองความถี่ผ่านแถบจะช่วยกรองความถี่ในช่วง 178 ± 1 Hz เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปป้อนเข้ากับตัวควบคุมแบบสัดส่วนเพื่อนำไปเป็นสัญญาณชดเชยความถี่ให้กับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โดยในการจำลองการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เมื่อเพิ่มวงจรรองความถี่ผ่านแถบจะพิจารณาการทำงานดังกล่าวในบทที่ 5



รูปที่ 3.44 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรรองความถี่ผ่านแถบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 4

ผลการจำลองการทำงานในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการจำลองการทำงานของระบบไมโครกริดในโหมดการทำงานแบบแยกโดดเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความผันผวนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้การควบคุมแบบประสานงานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โดยจะใช้โปรแกรม DigSILENT ในการจำลองการทำงานของระบบไมโครกริดดังกล่าวสำหรับจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมดแยกโดดเพื่อแสดงถึงการช่วยควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โดยพิจารณา 11 กรณีศึกษา ได้แก่

1) กรณีศึกษาในช่วงเวลาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดภายในระบบมากที่สุด ข้อมูลโหลดกำลังไฟฟ้าอ้างอิงเมื่อวันที่ 18 มิ.ย. 2562 อ้างอิงในช่วงเวลา 20.00 – 20.15 น. โดยพิจารณาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่น ๆ จ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่

2) กรณีศึกษาช่วงเวลาที่เกิดความผันผวนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด ข้อมูลโหลดกำลังไฟฟ้าวันที่ 18 มิ.ย. 2562 อ้างอิงในช่วงเวลา 11.30 – 11.45 น. โดยพิจารณาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่น ๆ จ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่

3) กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการทำงานประสานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่โดยในกรณีศึกษานี้จะใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าในรูปที่ 4.10

4) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยไม่มีการทำงานของการควบคุมหัตถิยภูมิ

5) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมหัตถิยภูมิ

6) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

7) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยเพิ่มค่าคงตัวเวลาของระบบแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

8) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของระบบแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบหัตถิยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

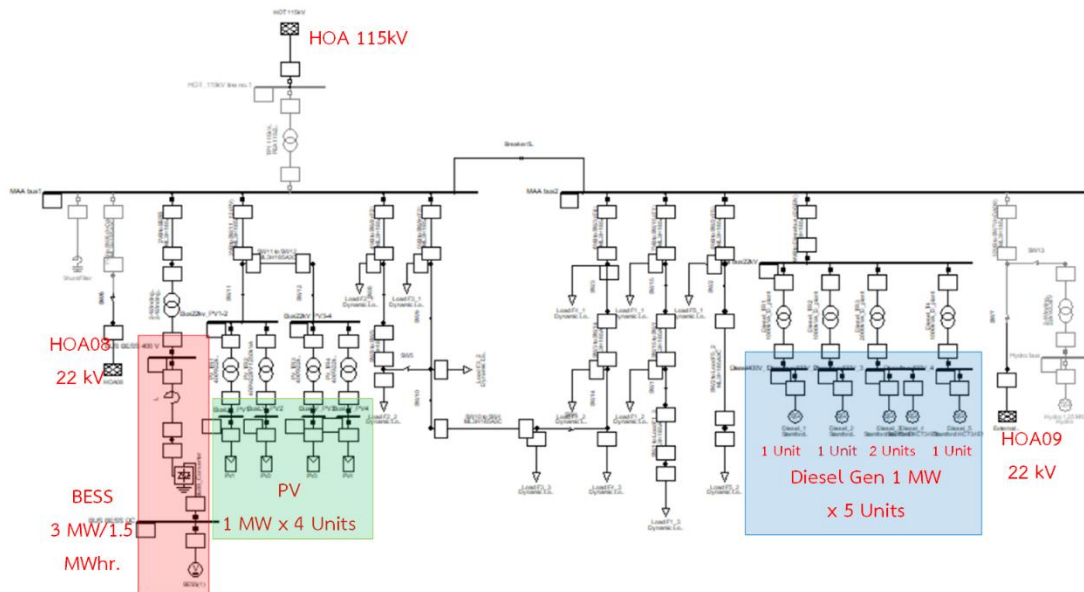
9) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในการควบคุมแบบทุติยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

10) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานในการควบคุมแบบทุติยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

11) กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของระบบควบคุมแบบทุติยภูมิที่พิจารณาผลของแถบไร้การตอบสนอง (Deadband) และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการควบคุมความถี่แบบทุติยภูมิในกรณีศึกษาที่ 5 – 11

กรณีศึกษา	Tau_Diesel	Tau_BESS	Deadband
5	300	1	0
6	300	1	0
7	300	10	0
8	300	0.1	0
9	100	1	0
10	100	0.1	0
11	300	1	0.02

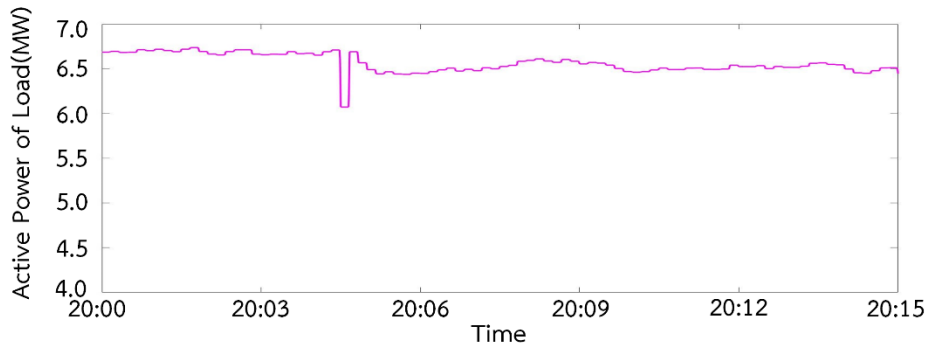


รูปที่ 4.1 แบบจำลองไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดด

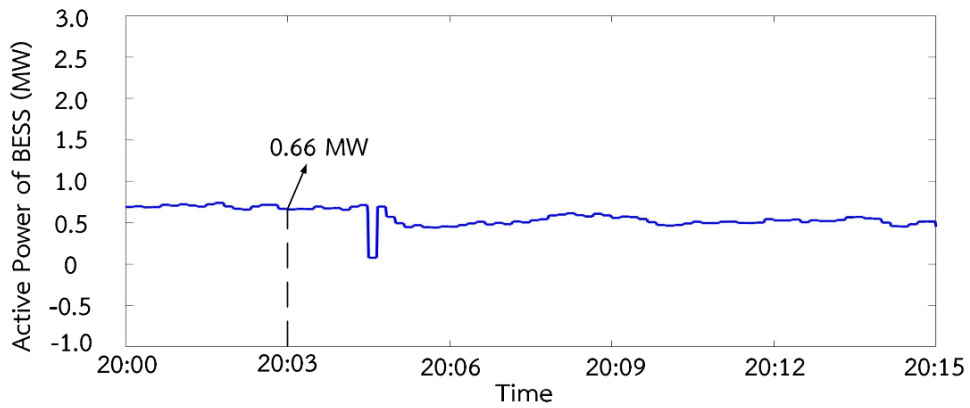
4.1 กรณีศึกษาในช่วงเวลาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดภายในระบบมากที่สุด

กรณีศึกษานี้จะใช้แบบจำลองไมโครกริดแม่สะเรียงดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในไมโครกริดให้ผลผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลคงที่ขนาด 5 MW และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำคงที่ขนาด 1 MW การเปลี่ยนแปลงของโหลดในช่วงเวลาดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.2 จากผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่า ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่มีผลตอบสนองที่ไวดังแสดงในรูปที่ 4.3 การควบคุมอินเวอร์เตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่สามารถควบคุมความถี่ให้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 0.5 Hz และแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 5 % ตามเกณฑ์คุณภาพไฟฟ้าของ กพภ. ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ โดยความถี่เบี่ยงเบนที่สถานะคงตัว เป็นไปดังสมการที่ 4.1 เมื่อกำหนด $R = 0.01$ $D = 5$ จะได้ค่าความถี่เบี่ยงเบนที่สถานะคงตัวดังตัวอย่างที่เวลา 20:03 น. มีค่าเท่ากับ -0.105 Hz หรือความถี่ในระบบจะมีค่าเป็น 49.895 เมื่อระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.66 MW ตามโหลดที่เปลี่ยนแปลง

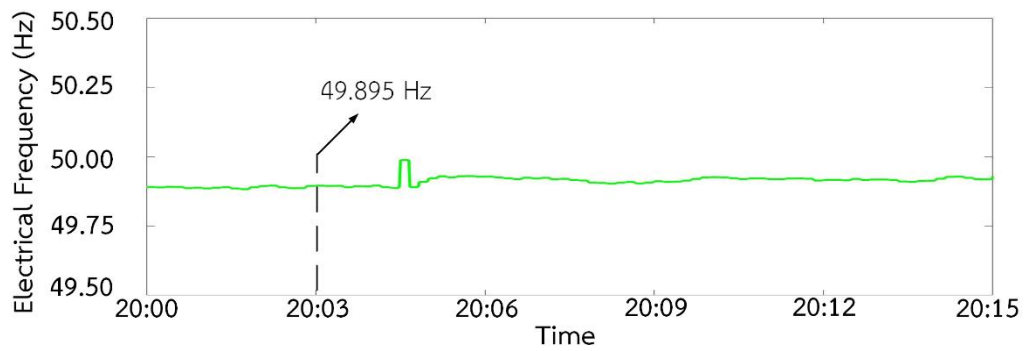
$$\Delta f_{ss} = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R} + D} \quad (4.1)$$



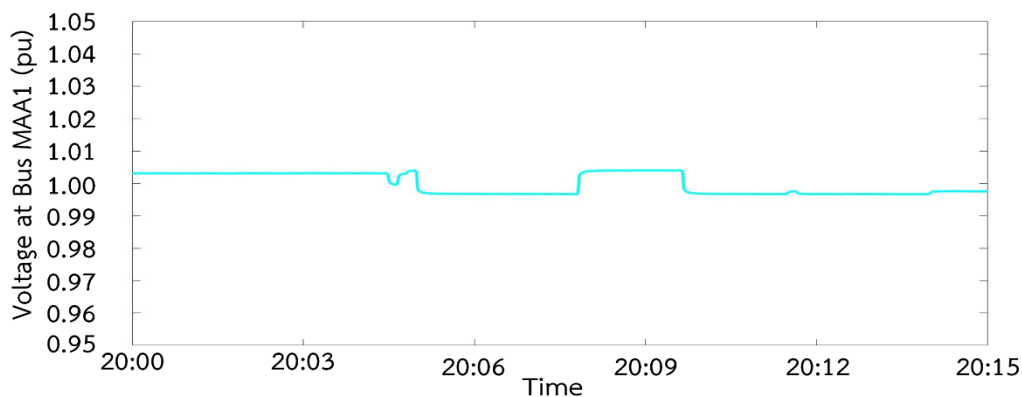
รูปที่ 4.2 โหลดรวมของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1



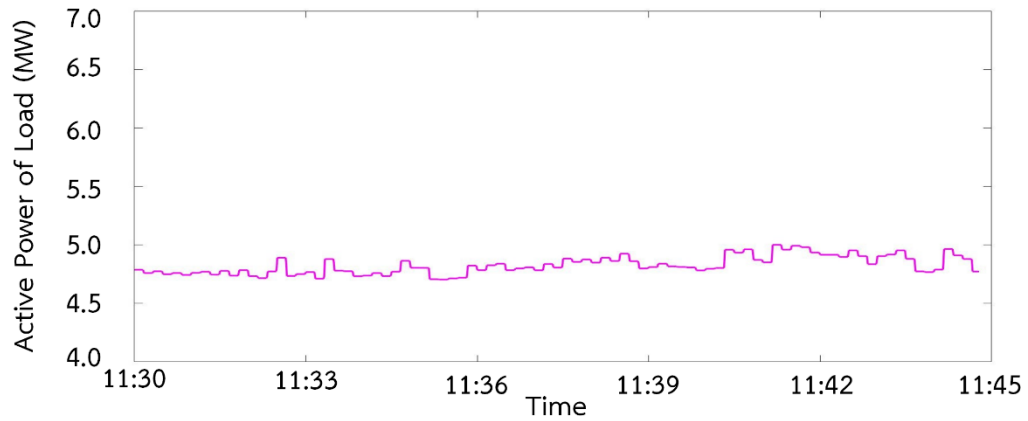
รูปที่ 4.4 ความถี่ไฟฟ้าของระบบในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1



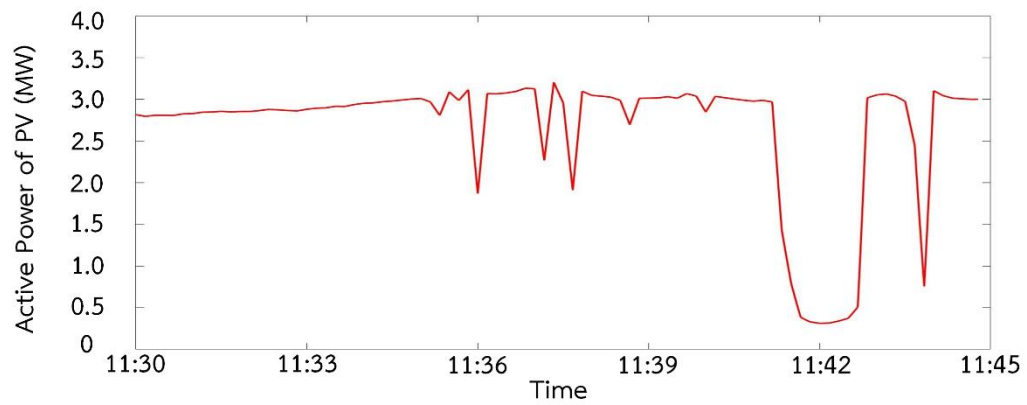
รูปที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าของ Bus MAA1 ในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 1

4.2 กรณีศึกษาช่วงเวลาที่เกิดความผันผวนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด

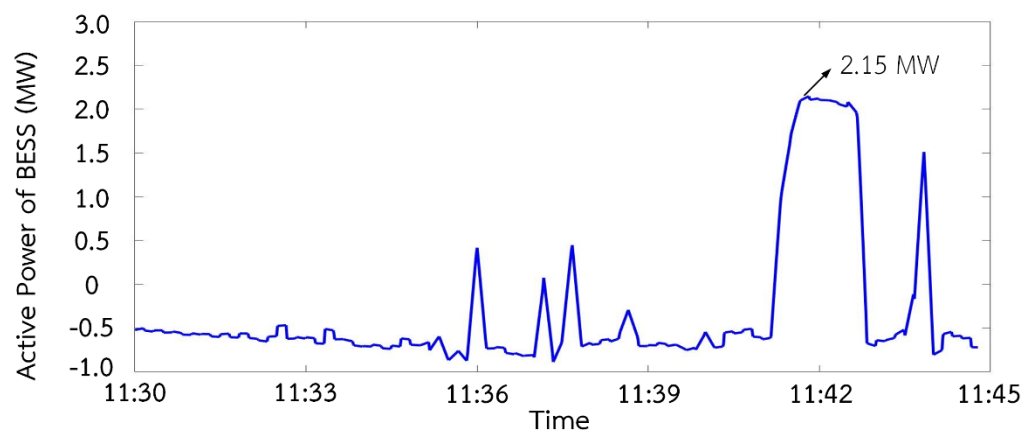
กรณีศึกษานี้จะใช้แบบจำลองไมโครกริดแม่สะเรียงดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในไมโครกริดให้ผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลคงที่ขนาด 2.5 MW การเปลี่ยนแปลงของโหลดในช่วงเวลาดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.6 และความผันผวนของกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 4.7 จากกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะเห็นว่ามีความผันผวนของกำลังไฟฟ้าสูงมากในช่วงเวลา 11:41 น. มีกำลังการผลิตลดลงจาก 3 MW เหลือเพียง 0.4 MW และในช่วงเวลาดังกล่าวโหลดในระบบมีการเพิ่มขึ้นจาก 4.7 MW เป็น 5 MW จึงเป็นช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าภายในระบบมากที่สุด ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 2.15 MW เพื่อควบคุมความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่สามารถควบคุมความถี่ให้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 0.5 Hz และแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 5 % ตามเกณฑ์คุณภาพไฟฟ้าของ กฟผ. ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ



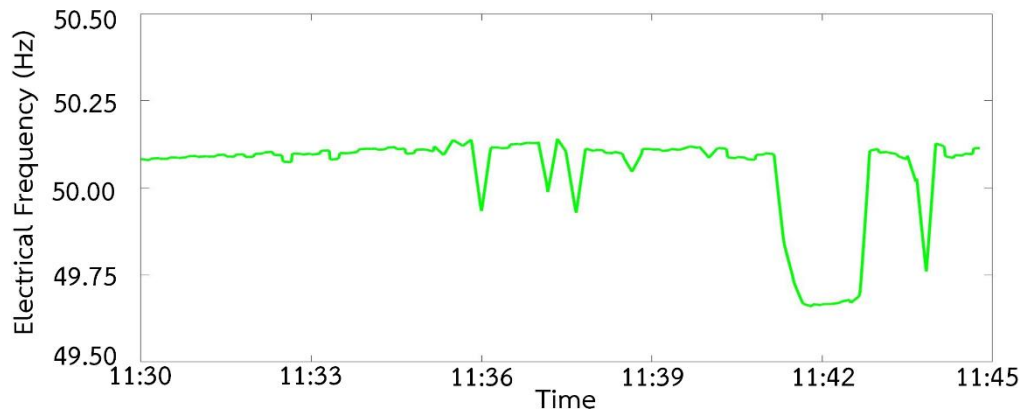
รูปที่ 4.6 โหลดรวมของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2



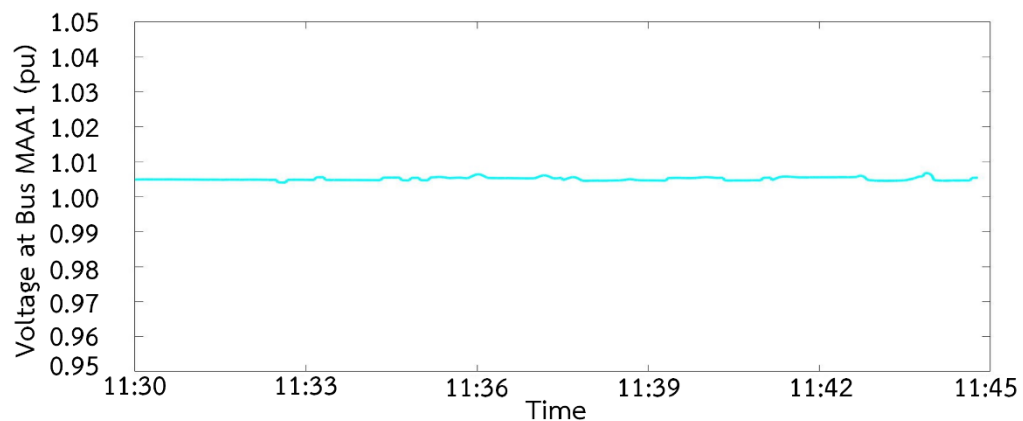
รูปที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.9 ความถี่ไฟฟ้าของระบบในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2

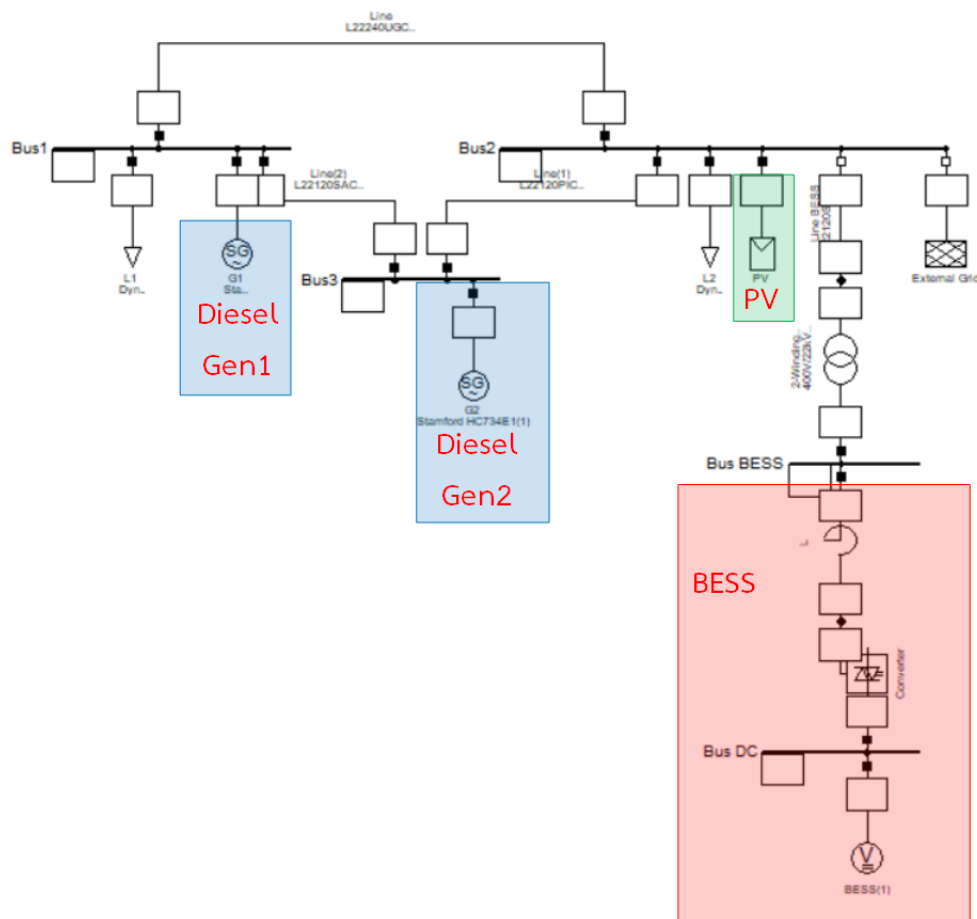


รูปที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้า Bus MAA1 ในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 2

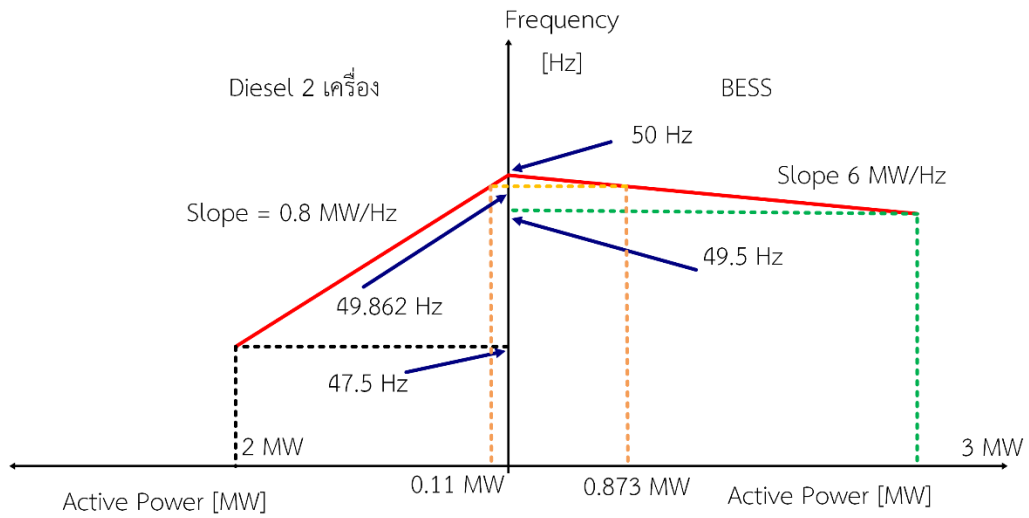
4.3 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการทำงานประสานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการทำงานประสานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในเบื้องต้นจะใช้แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ได้กล่าวมาข้างต้นในบทที่ 3 จะพิจารณาการทำงานจากระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นมาก่อน ระบบไฟฟ้าสำหรับการพิจารณาในเบื้องต้นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ดังกล่าวสามารถทำงานร่วมกันได้ตามคุณลักษณะการทำงานของรูปในการช่วยกันควบคุมความถี่ของไมโครกริดในโหมดแยกโดดดังแสดงในรูปที่ 4.11 กรณีนี้ได้ตั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ซึ่งประกอบด้วยค่าดังนี้คือ $R = 0.01$ pu/pu, $D = 5$ และ $M = 1.5$ โดยค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสำหรับควบคุมความถี่ระบบไฟฟ้าได้ใช้ค่าในตารางที่ 3.1 และการควบคุมแรงดันไฟฟ้าใช้ค่าในตารางที่ 3.2 โทลด์ที่ได้นำมาใช้ในกรณีศึกษานี้ ได้นำค่าโทลด์ของสถานีไฟฟ้าแม่

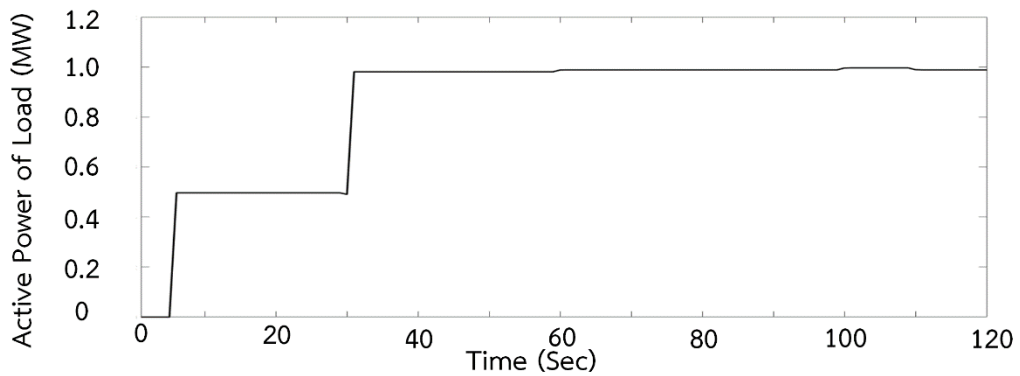
ละเอียดมาทำการปรับค่าเพื่อให้สามารถจ่ายโหลดได้เพียงพอแสดงในรูปที่ 4.13 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ได้ปรับให้มีขนาดกำลังผลิตสูงสุดขนาด 0.5 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาการทำงานในช่วงระยะเวลา 2 นาที จะพบว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงในระบบ ไม่ว่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด หรือโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในระบบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลทั้ง 2 เครื่อง และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อควบคุมความถี่ไฟฟ้าของระบบผ่านการควบคุมแบบดรู๊ป การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าตามค่าดรู๊ปของตนเองดังแสดงในรูปที่ 4.14, รูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.17 ตามลำดับ จากผลการจำลองจะเห็นว่าความถี่ไฟฟ้าของระบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กพท. ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยความถี่ที่เบี่ยงเบนไปเป็นดังสมการที่ 4.1 และการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงตามแผนภาพแสดงการทำงานของรูปในรูปที่ 4.12



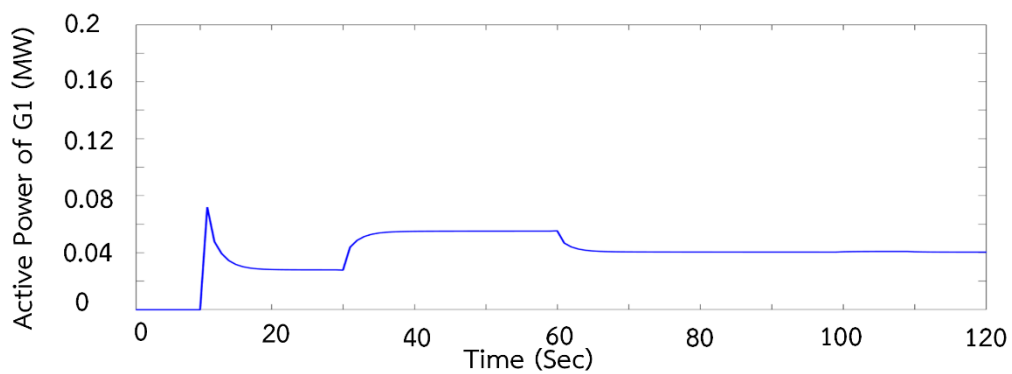
รูปที่ 4.11 ระบบไฟฟ้าสำหรับการจำลองการประสานงานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบดรู๊ป



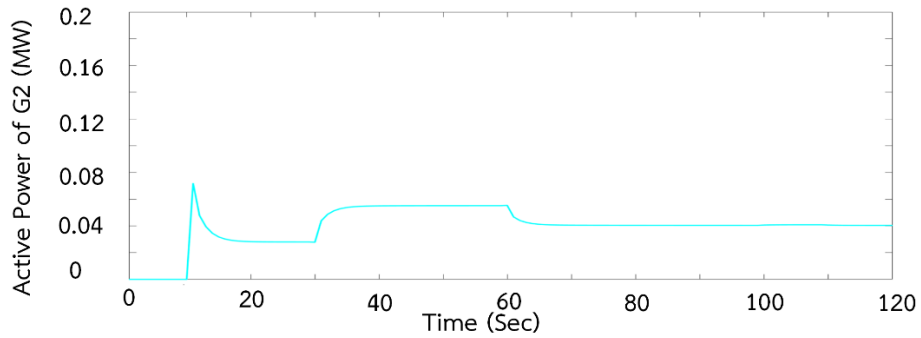
รูปที่ 4.12 แผนภาพแสดงจุดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบตเตอรี่



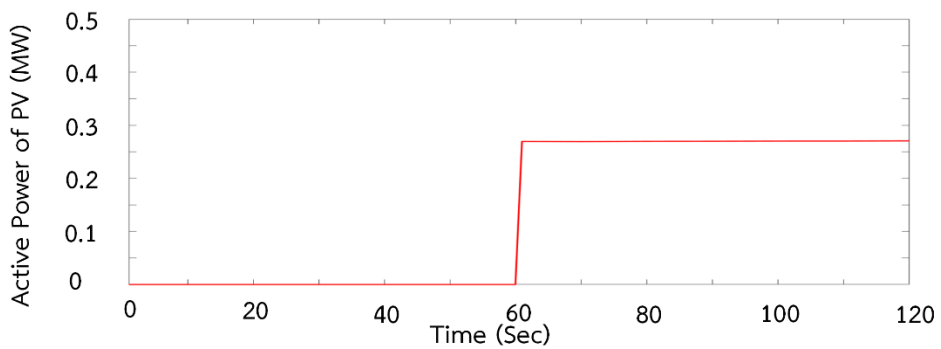
รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด กรณีศึกษาที่ 3



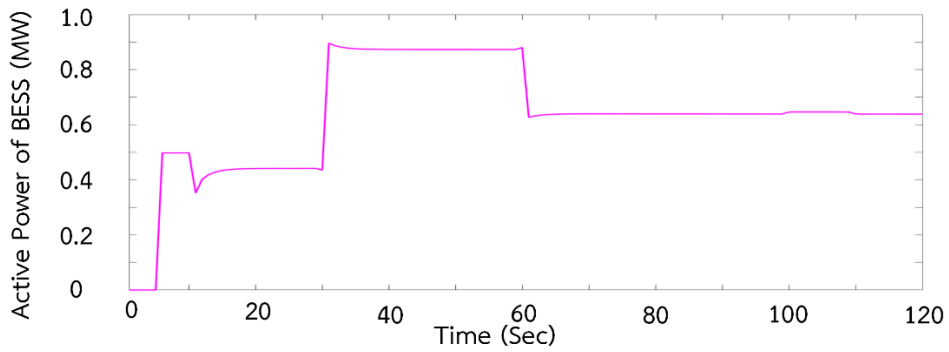
รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้าจริงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลตัวที่ 1 กรณีศึกษาที่ 3



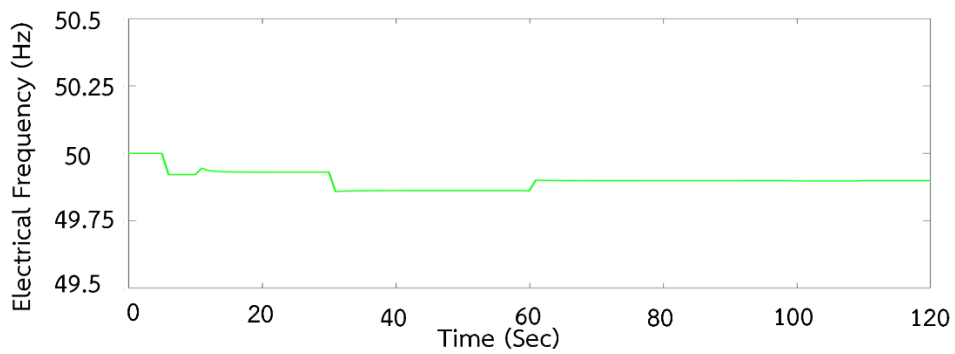
รูปที่ 4.15 กำลังไฟฟ้าจริงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลตัวที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาที่ 3



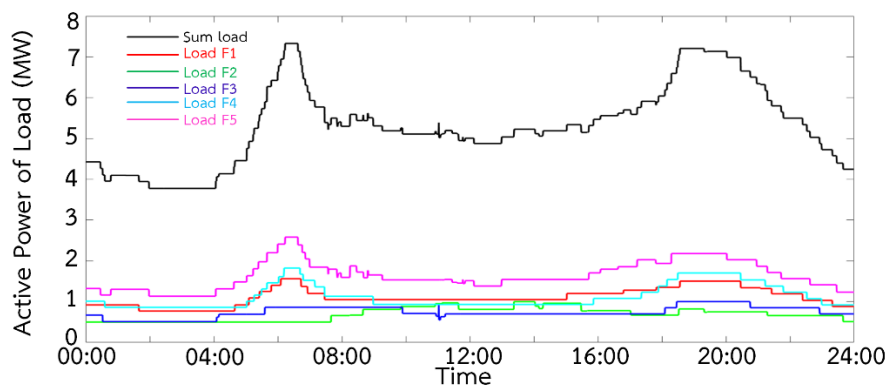
รูปที่ 4.17 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 3



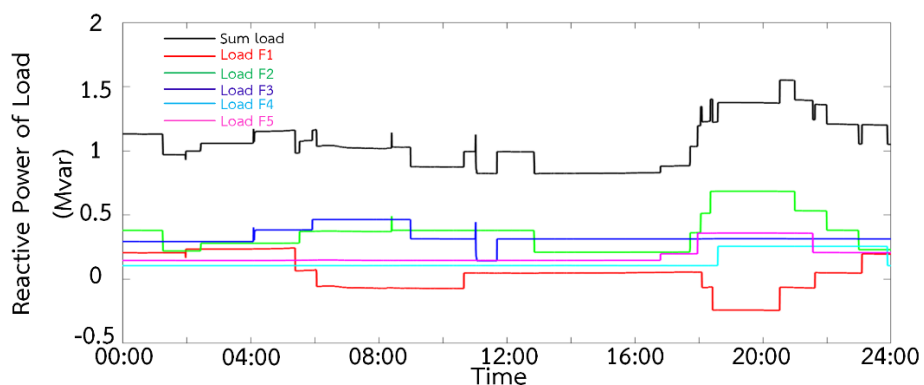
รูปที่ 4.18 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 3

4.4 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยไม่มีการทำงานของการควบคุมทุติยภูมิ

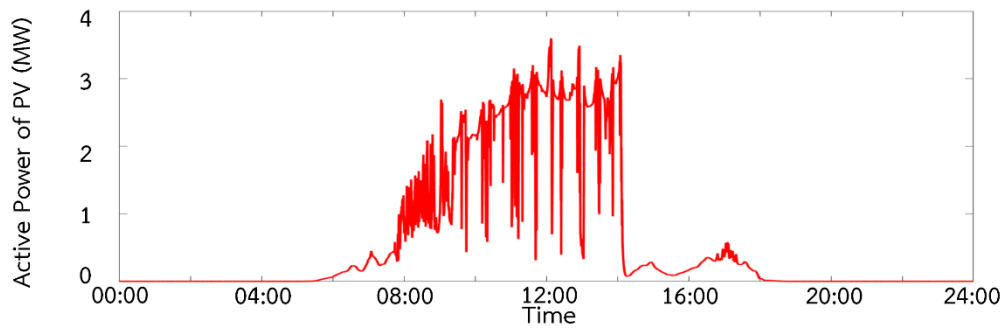
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียง กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 ตามลำดับ ในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการศึกษาจำลองการทำงานจะพบว่าเมื่อไม่มีตัวควบคุมทุติยภูมิสำหรับควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการควบคุมแบบปฐมภูมิ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.24 และ รูปที่ 4.25 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ $+0.38063$ Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.6417 % ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ.



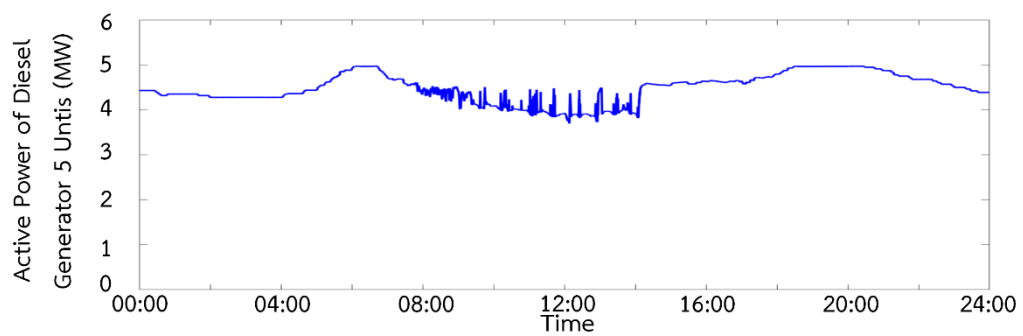
รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าจริงของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563



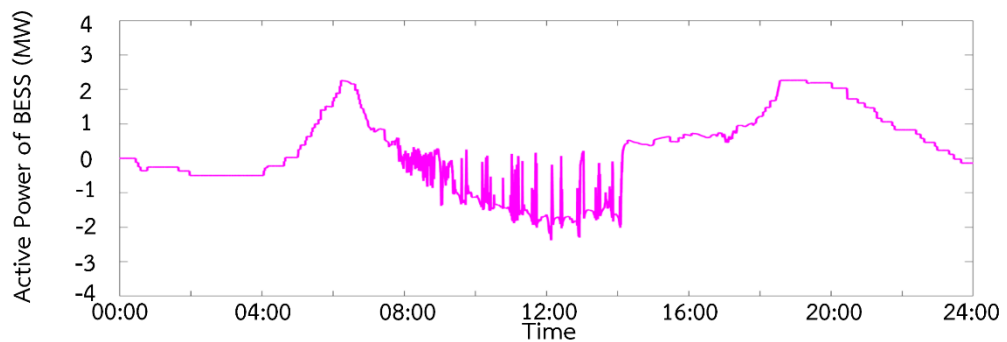
รูปที่ 4.20 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563



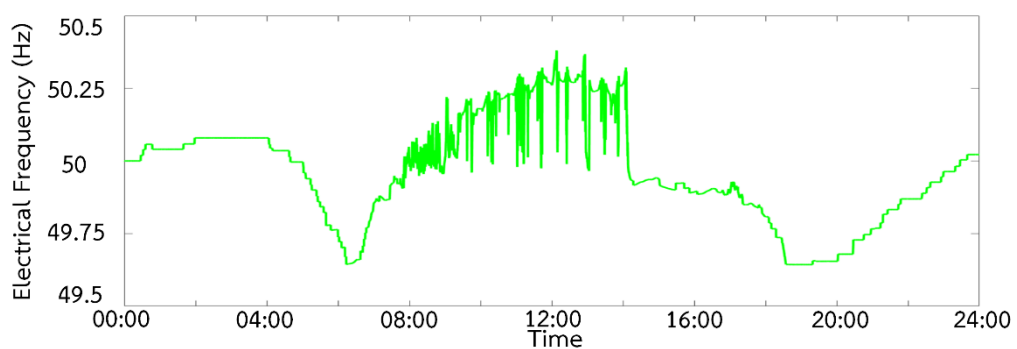
รูปที่ 4.21 กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ภายในไมโครกริดแม่สะเรียง



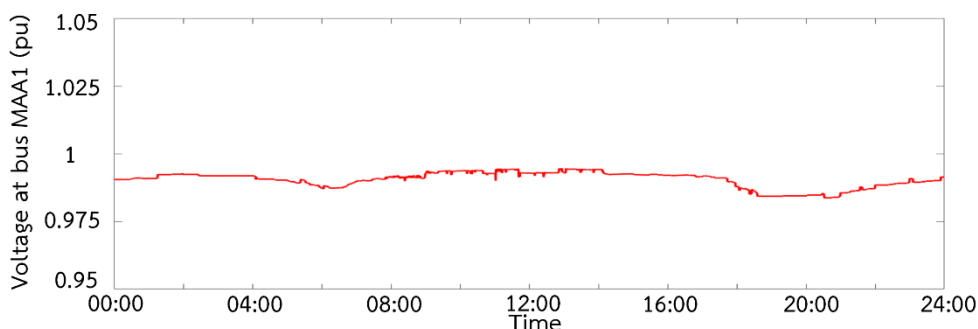
รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.23 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 4



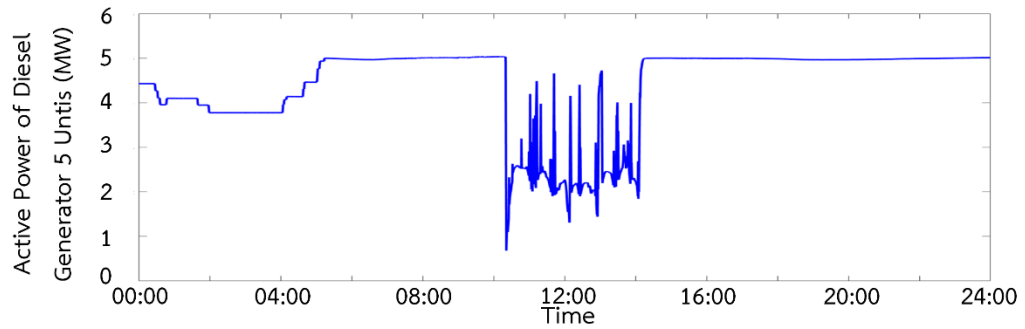
รูปที่ 4.24 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 4



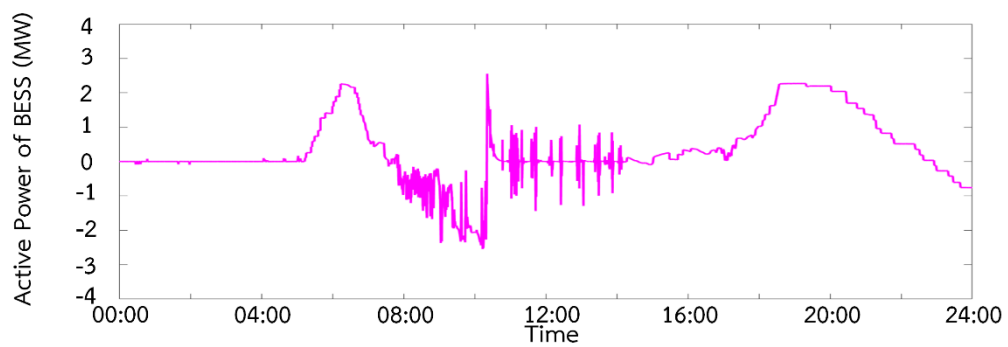
รูปที่ 4.25 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 4

4.5 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมทฤษฎีภูมิ

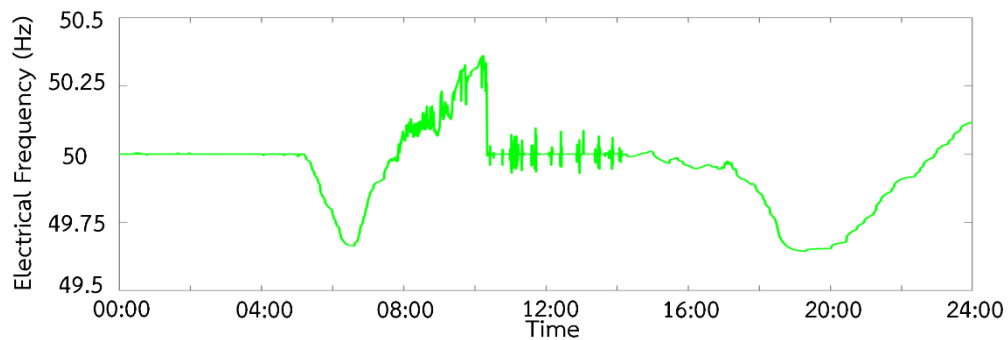
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฐมนิยามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดรวม 10 วินาที ของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียง กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ ในกรณีนี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่าบ่งนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะพบว่าเมื่อมีการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิสำหรับควบคุมความถี่ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเพื่อปรับเปลี่ยนจุดการทำงานเพื่อให้ความถี่ของระบบกลับมาที่ค่าปกติในสภาวะคงตัว กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.26 และ รูปที่ 4.27 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ +0.36201 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.5361 % จะเห็นได้ว่าความถี่เบี่ยงเบน และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนไม่เกินมาตรฐานของ กฟภ. กรณีศึกษานี้จะเห็นได้ว่าจะช่วยให้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าน้อยลงเนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าเฉพาะในส่วนที่มีความผันผวนสูงเท่านั้น แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลไม่เพียงพอต่อการจ่ายโหลดระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ก็จำเป็นต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเพื่อช่วยควบคุมความถี่ไฟฟ้าของระบบต่อไป



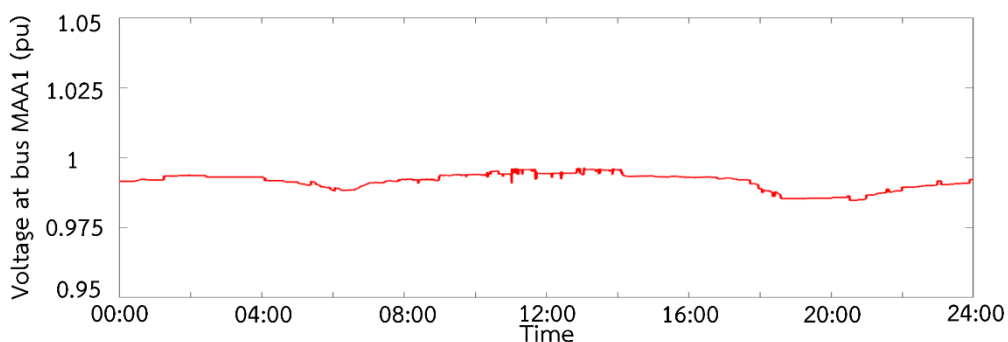
รูปที่ 4.26 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 5



รูปที่ 4.27 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5



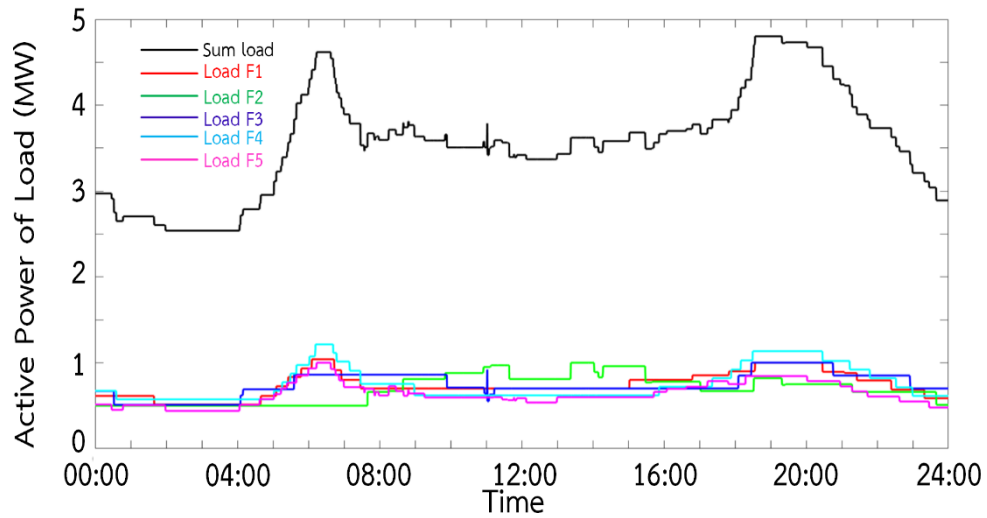
รูปที่ 4.28 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5



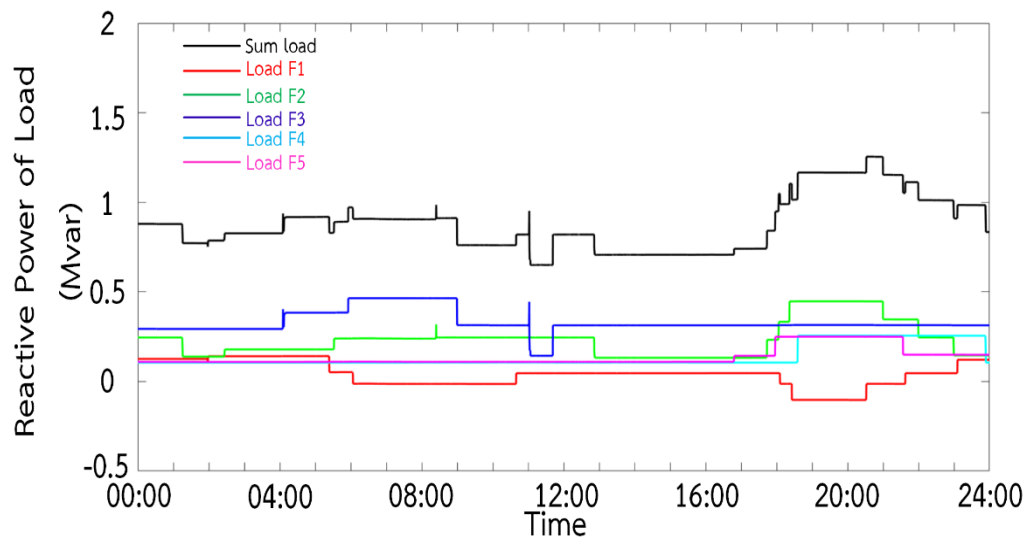
รูปที่ 4.29 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 5

4.6 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมทุติยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

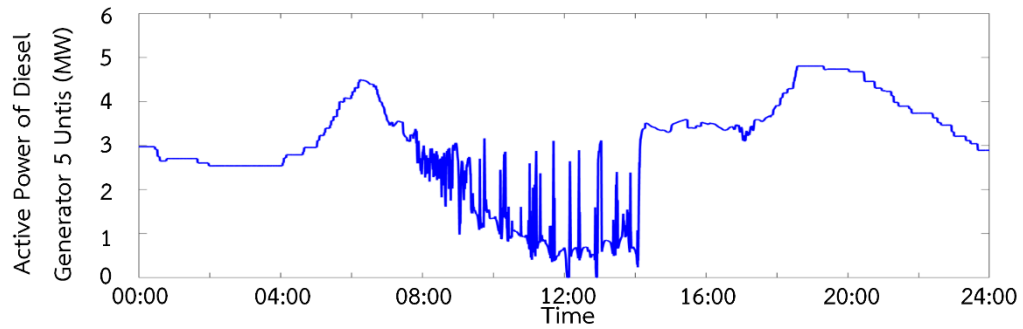
กรณีนี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทุติยภูมิเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียง กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้เพียงพอ การปลดโหลดตามความสำคัญอ้างอิงจากเอกสาร [1] ของกฟภ. ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องปลดโหลดดังนี้ ได้แก่ 1. SW1, 2. SW2, 3. SW14 ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟหลังจากปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกแสดงดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31 ตามลำดับ ในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ้าบ่องนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะได้กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35 ตามลำดับ ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -0.10666 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.1455 % ซึ่งความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนไม่เกินมาตรฐานของ กฟภ. กรณีศึกษานี้จะพบว่าระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเฉพาะในส่วนที่มีความผันผวนสูงเท่านั้น และเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะจ่ายกำลังไฟฟ้าชดเชยเพื่อให้ความถี่ของระบบไฟฟ้ากลับมาที่ 50 Hz



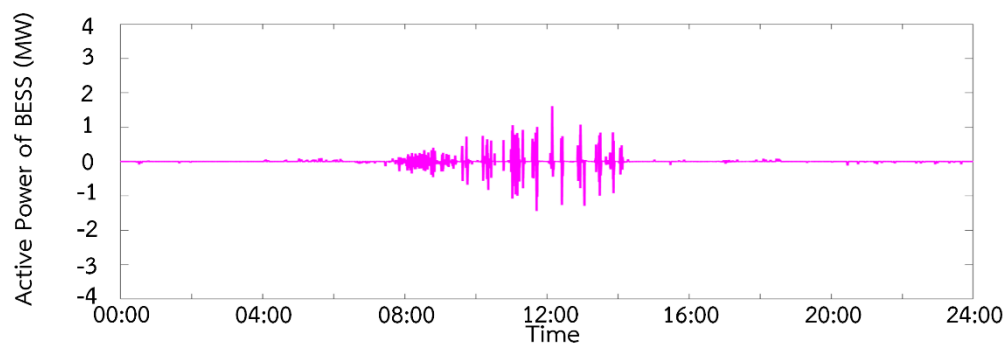
รูปที่ 4.30 กำลังไฟฟ้าจริงของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563 เมื่อทำการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกให้เพียงพอต่อการทำงานในโหมดแยกโดดแบบต่อเนื่อง



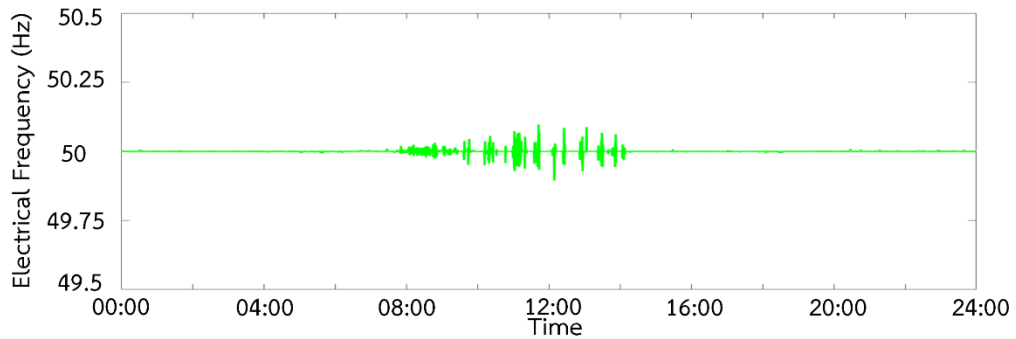
รูปที่ 4.31 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงราย 10 วินาที ณ วันที่ 20 ต.ค. 2563 เมื่อทำการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกให้เพียงพอต่อการทำงานในโหมดแยกโดดแบบต่อเนื่อง



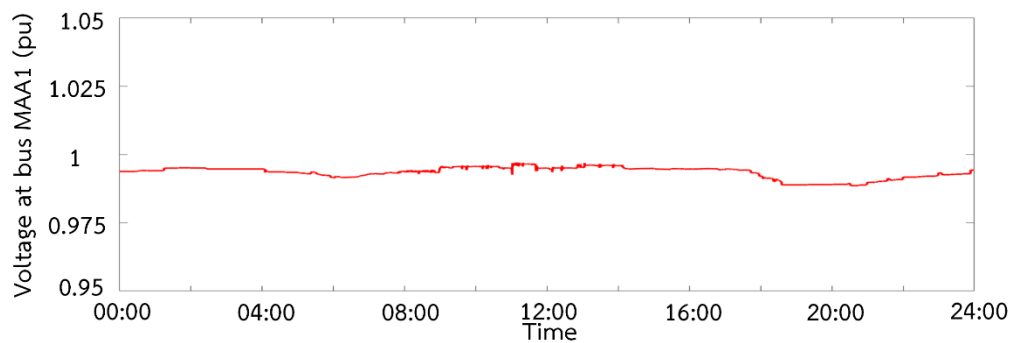
รูปที่ 4.32 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4.33 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 6



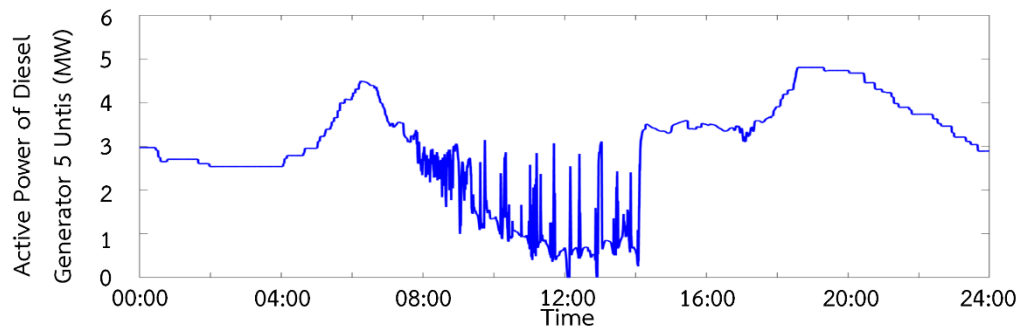
รูปที่ 4.34 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 6



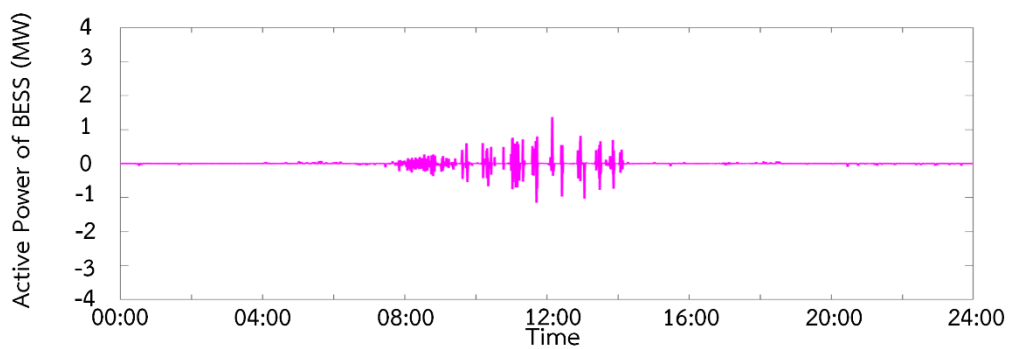
รูปที่ 4.35 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 6

4.7 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยเพิ่มค่าคงตัวเวลาของระบบแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบทุติยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

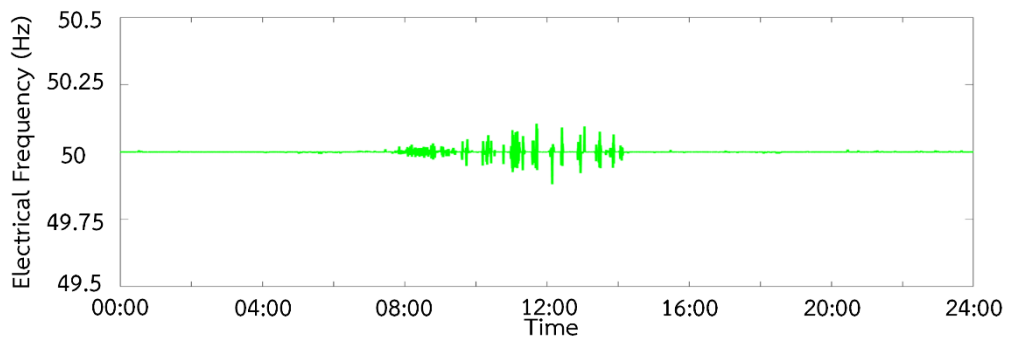
กรณีนี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทุติยภูมิเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงโดยข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าวาร์แอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้เพียงพอ การปลดโหลดตามความสำคัญอ้างอิงจากเอกสาร [1] ของกฟภ. ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องต้องปลดโหลดดังนี้ ได้แก่ 1. SW1, 2. SW2, 3. SW14 ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าวาร์แอกทีฟหลังจากปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกแสดงดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31 ตามลำดับ ในกรณีนี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ฝ่าบ่งนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะได้กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.36 และรูปที่ 4.37 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.38 และรูปที่ 4.39 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ -0.11984 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.1455 % ซึ่งความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ. กรณีศึกษานี้จะพบว่าเมื่อเพิ่มค่าคงตัวเวลาของระบบแบตเตอรี่ในส่วนของการควบคุมทุติยภูมิ จะส่งผลให้แบตเตอรี่ทำงานในส่วนที่มีความผันผวนสูงน้อยลงทำให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 6



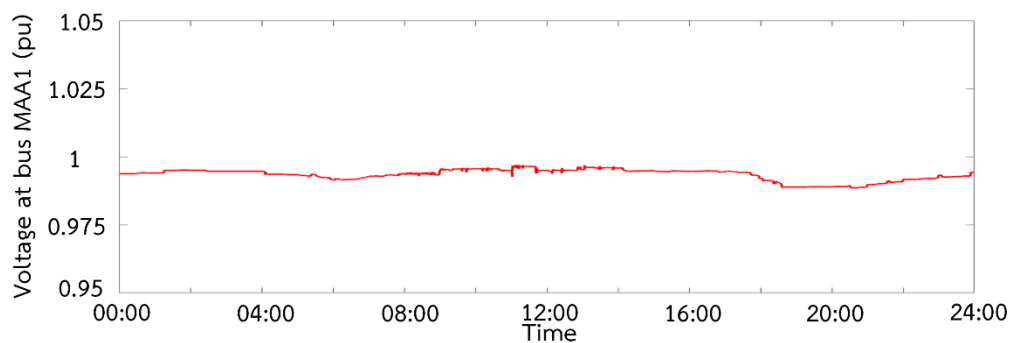
รูปที่ 4.36 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 7



รูปที่ 4.37 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 7



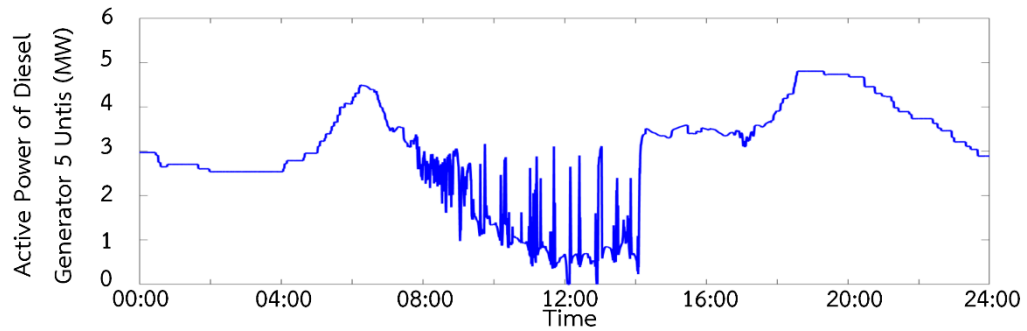
รูปที่ 4.38 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 7



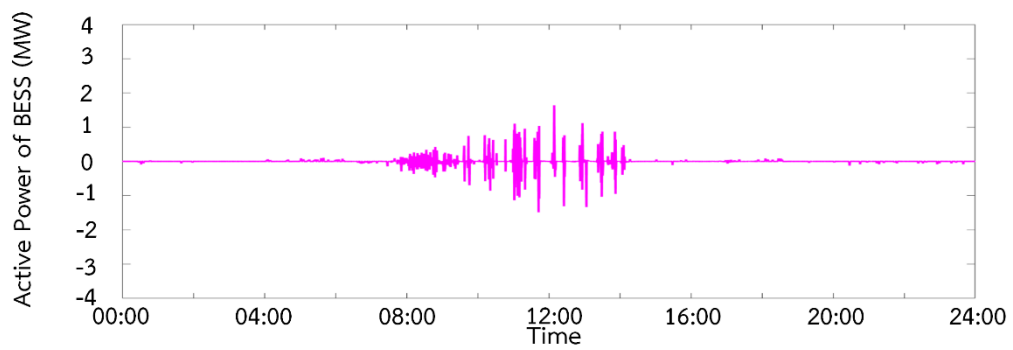
รูปที่ 4.39 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 7

4.8 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของระบบแบตเตอรี่ในการควบคุมแบบทุติยภูมิ และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

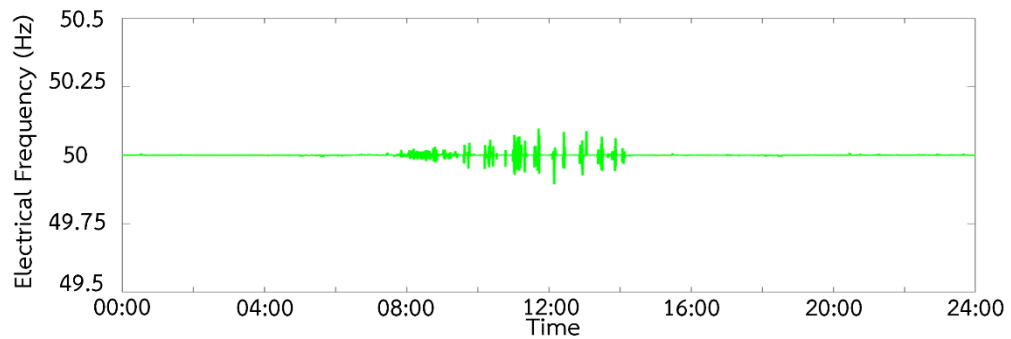
กรณีนี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฐมภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทุติยภูมิเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงโดยข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้เพียงพอ การปลดโหลดตามความสำคัญอ้างอิงจากเอกสาร [1] ของกฟภ. ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องปลดโหลดดังนี้ ได้แก่ 1. SW1, 2. SW2, 3. SW14 ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟหลังจากปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกแสดงดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31 ในกรณีนี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะได้กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.42 และรูปที่ 4.43 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ -0.10571 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.1455 % ซึ่งความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ. กรณีศึกษานี้จะพบว่าเมื่อลดค่าคงตัวเวลาของระบบแบตเตอรี่ในส่วนของการควบคุมทุติยภูมิ จะส่งผลให้แบตเตอรี่ทำงานในส่วนที่มีความผันผวนสูงมากขึ้นทำให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 6



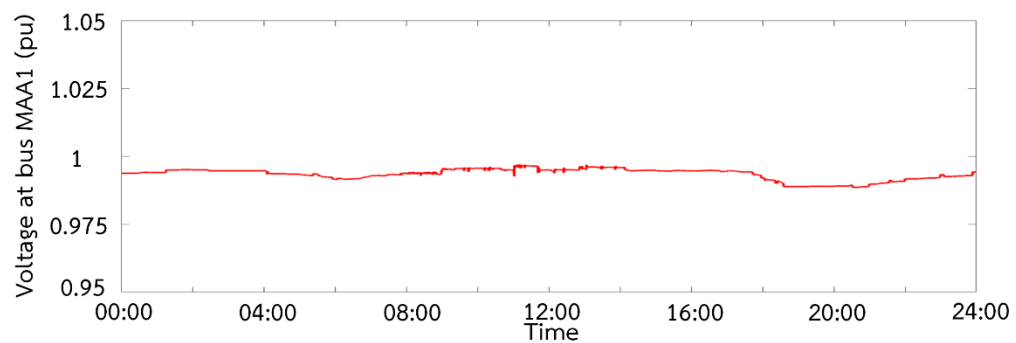
รูปที่ 4.40 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 8



รูปที่ 4.41 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 8



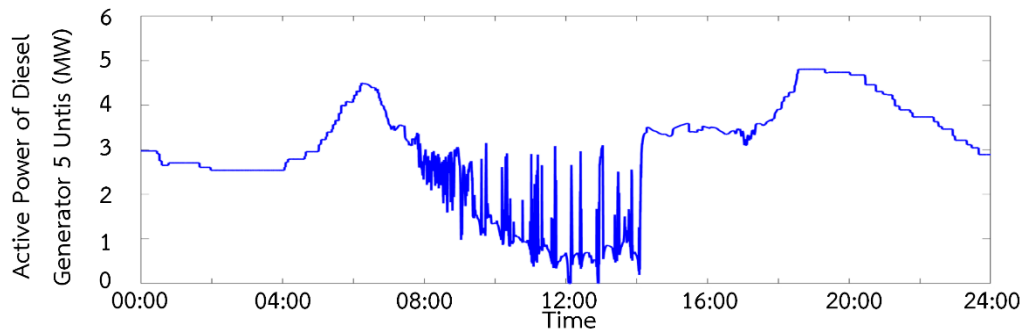
รูปที่ 4.42 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 8



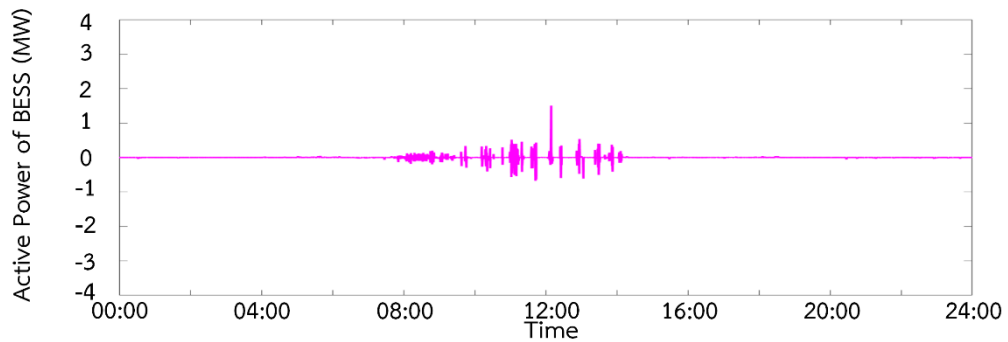
รูปที่ 4.43 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 8

4.9 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในการควบคุมแบบทฤษฎี และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

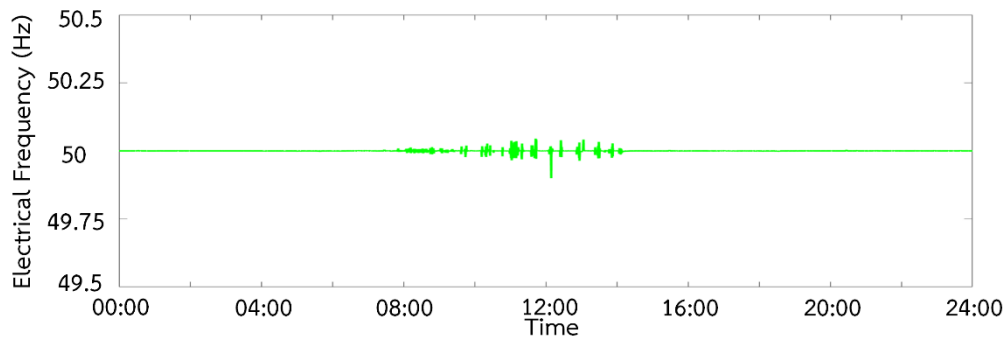
กรณีนี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทฤษฎีเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงโดยข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้เพียงพอ การปลดโหลดตามความสำคัญอ้างอิงจากเอกสาร [1] ของกฟภ. ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องปลดโหลดดังนี้ ได้แก่ 1. SW1, 2. SW2, 3. SW14 ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟหลังจากปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกแสดงดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31 ในกรณีนี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะได้กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.44 และรูปที่ 4.45 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.46 และรูปที่ 4.47 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ -0.10042 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.1455 % ซึ่งความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนไม่เกินมาตรฐานของ กฟภ. กรณีศึกษานี้จะพบว่าเมื่อลดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในส่วนของการควบคุมทฤษฎี จะส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเข้ามาทำงานในส่วนที่มีความผันผวนสูงเพิ่มขึ้นทำให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 6



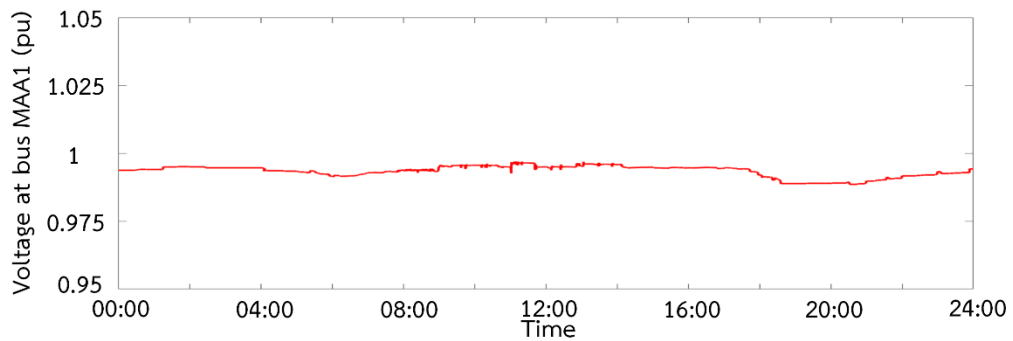
รูปที่ 4.44 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 9



รูปที่ 4.45 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 9



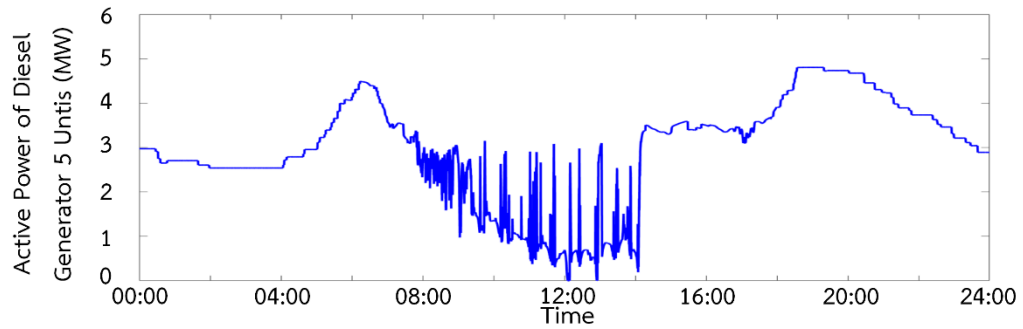
รูปที่ 4.46 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 9



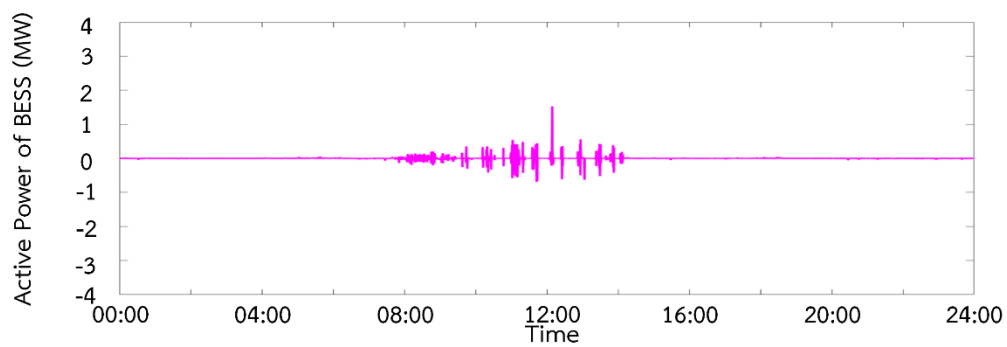
รูปที่ 4.47 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 9

4.10 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยลดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานในการควบคุมแบบทฤษฎี และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

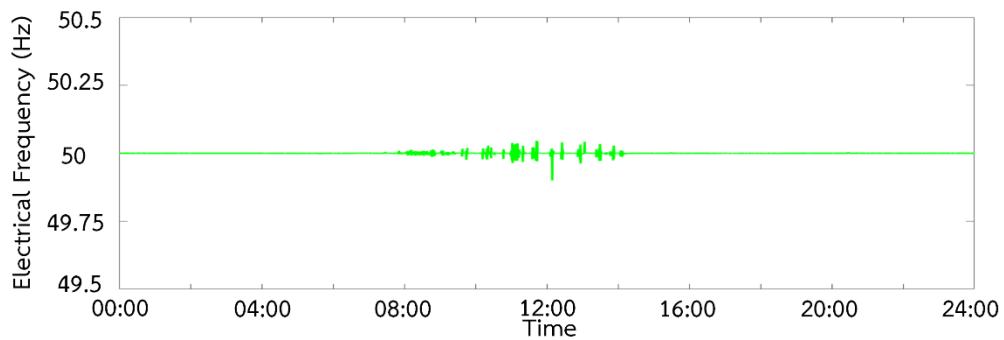
กรณีนี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรีเพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทฤษฎีเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสถานะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงโดยข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้เพียงพอ การปลดโหลดตามความสำคัญอ้างอิงจากเอกสาร [1] ของกฟผ. ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องปลดโหลดดังนี้ ได้แก่ 1. SW1, 2. SW2, 3. SW14 ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟหลังจากปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกแสดงดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31 ในกรณีนี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่องนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะได้กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรีแสดงดังรูปที่ 4.48 และรูปที่ 4.49 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.50 และรูปที่ 4.51 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ -0.09985 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.1455 % ซึ่งความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนไม่เกินมาตรฐานของ กฟผ. กรณีศึกษานี้จะพบว่าเมื่อลดค่าคงตัวเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบบเตอรีในส่วนของการควบคุมทฤษฎี จะส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบแบบเตอรีเข้ามาทำงานในส่วนที่มีความผันผวนสูงเพิ่มขึ้นทำให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกรณีการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น



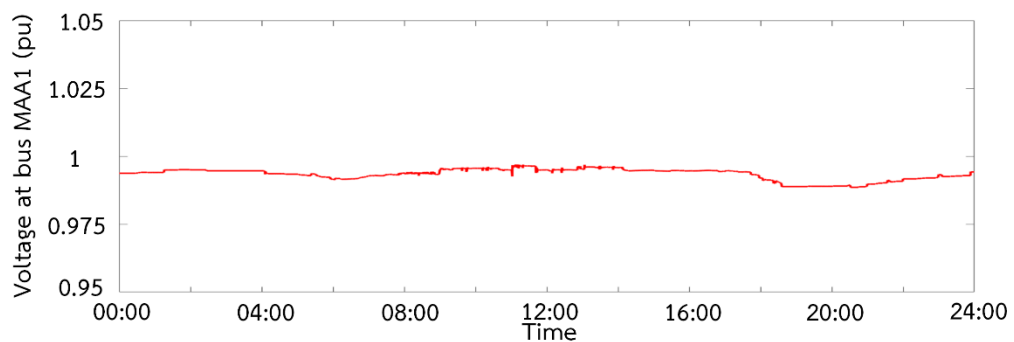
รูปที่ 4.48 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 10



รูปที่ 4.49 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 10



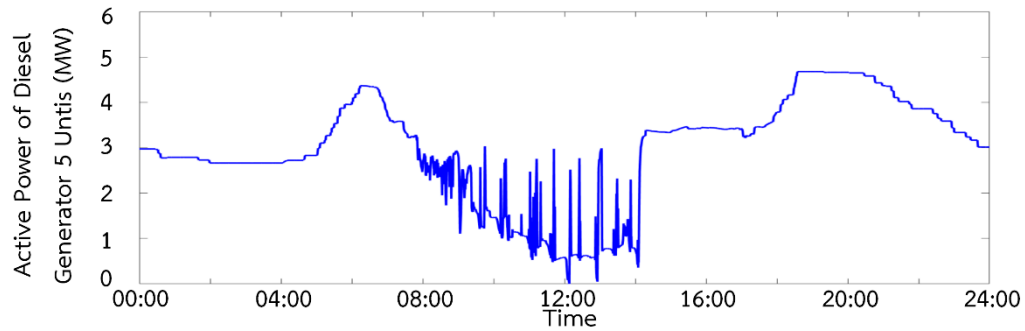
รูปที่ 4.50 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 10



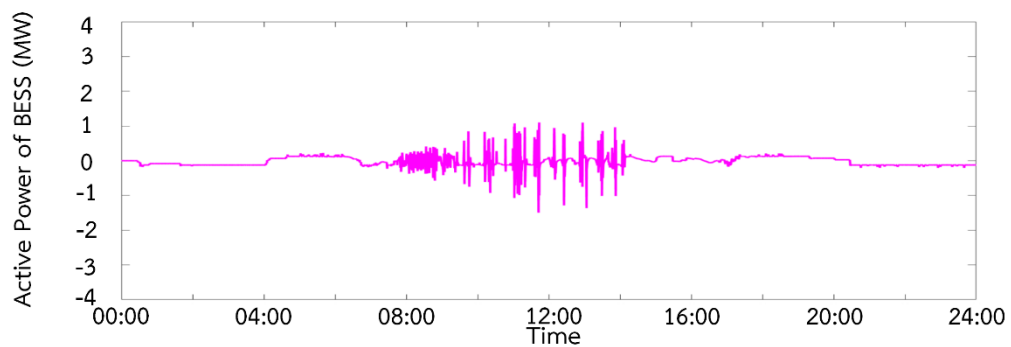
รูปที่ 4.51 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 10

4.11 กรณีศึกษาการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดภายใน 24 ชั่วโมง ข้อมูลโหลดอ้างอิงเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 2563 โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิที่พิจารณาผลของแถบไร้การตอบสนอง (Deadband) และพิจารณาการปลดโหลดที่ไม่สำคัญของไมโครกริด (Load shedding)

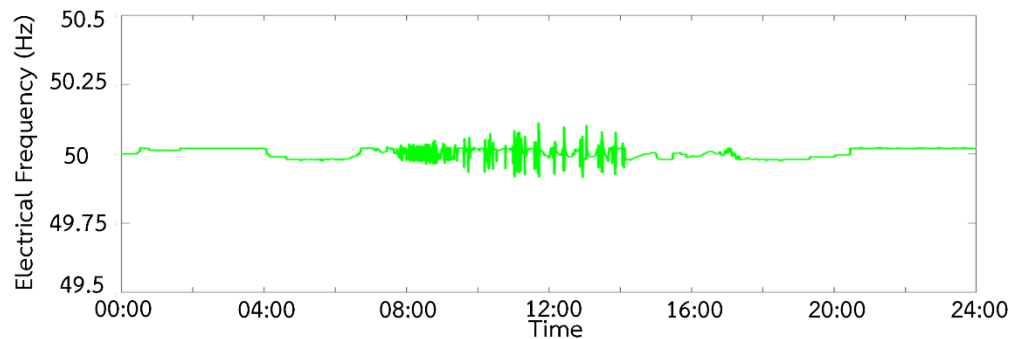
กรณีนี้จะพิจารณาการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงโดยอาศัยการควบคุมแบบป้อนภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำงานร่วมกัน โดยมีการทำงานของการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิเพื่อปรับค่าความถี่เบี่ยงเบนในสถานะคงตัวให้กลับมาที่ความถี่ปกติ (50 Hz) ข้อมูลโหลดที่ใช้ในกรณีนี้เป็นข้อมูลโหลดราย 10 วินาทีของวันที่ 20 ต.ค. 2563 จากสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงโดยข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้เพียงพอ การปลดโหลดตามความสำคัญอ้างอิงจากเอกสาร [1] ของกฟภ. ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องปลดโหลดดังนี้ ได้แก่ 1. SW1, 2. SW2, 3. SW14 ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟหลังจากปลดโหลดที่ไม่สำคัญออกแสดงดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31 ในกรณีนี้จะพิจารณาผลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ฝ่าบ่งนำมาปรับเทียบค่าให้มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 4 MW ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากการจำลองการทำงานจะได้กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.52 และรูปที่ 4.53 ตามลำดับ ผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในด้านความถี่และแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4.54 และรูปที่ 4.55 โดยความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของอยู่ที่ 0.113 Hz และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -1.1498 % ซึ่งความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนไม่เกินมาตรฐานของ กฟภ. กรณีศึกษานี้จะพบว่าเมื่อพิจารณาให้มีการทำงานของแถบไร้การตอบสนองจะส่งผลให้การควบคุมแบบทฤษฎีภูมิทำงานลดลงทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไฟฟ้ามียุคสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 6 ที่ไม่ได้มีการทำงานของแถบไร้การตอบสนอง



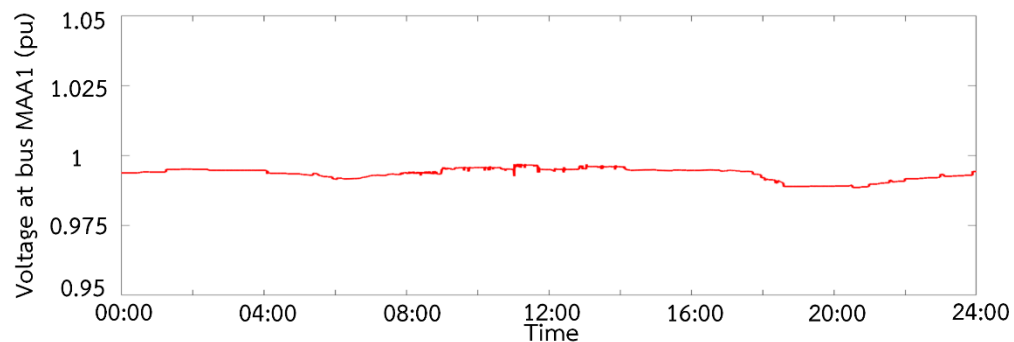
รูปที่ 4.52 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 11



รูปที่ 4.53 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 11



รูปที่ 4.54 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 11



รูปที่ 4.55 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 11

4.12 สรุปผลการจำลองการทำงานในโหมดแยกโดดของไมโครกริดแม่สะเรียง

ผลการจำลองการทำงานทั้ง 11 กรณีศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถพิจารณาความถี่และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะพบว่าในกรณีศึกษาที่ 10 จะมีค่าความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนน้อยที่สุดเนื่องจากค่าคงตัวเวลาในการควบคุมหตุยภูมิมีค่าน้อยทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ทำงานตอบสนองในส่วนของความผันผวนสูงเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 6 – 9 และเมื่อพิจารณาการทำงานของแถบการตอบสนองไร้ความถี่ดังที่แสดงในกรณีศึกษาที่ 11 จะพบว่าความถี่เบี่ยงเบนไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 6 เนื่องจากการควบคุมแบบหตุยภูมิจะทำงานเมื่อความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนเกินแถบไร้การตอบสนองเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 ค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดในแต่ละกรณีศึกษา

Case	Maximum frequency deviation (HZ)	Maximum voltage deviation (%)	Maximum active power of BESS (MW)
1	-0.11731	0.404	0.73919
2	-0.34065	0.6819	2.14661
3	-0.14165	-0.6672	0.89589
4	0.38063	-1.6417	-2.37877
5	0.36201	-1.5361	2.5516
6	-0.10666	-1.1455	1.6109
7	-0.11984	-1.1455	1.3666
8	-0.10571	-1.1455	1.6382
9	-0.10042	-1.1456	1.5028
10	-0.09985	-1.1456	1.5287
11	0.113	-1.1498	-1.4969

บทที่ 5

ผลการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงเมื่อพิจารณาผลของระลอกแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการจำลองการทำงานของระบบไมโครกริดแม่สะเรียงในโหมดแยกโดดเมื่อพิจารณาผลของระลอกแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 ในหัวข้อที่ 3.5 จะพบว่าระลอกแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในระบบไมโครกริดแม่สะเรียงจะส่งผลให้ความถี่ของระบบแกว่งตามระลอกคลื่นแรงบิด ในบทนี้จะจำลองการทำงานเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิกัดเพื่อพิจารณาว่าปริมาณความถี่ของระลอกคลื่นจะส่งผลให้เกิดการทำงานของควบคุมแบบทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไม่ โดยจะแบ่งเป็น 5 กรณีศึกษา ได้แก่

- 1) กรณีศึกษาเมื่อปรับแต่งความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่
- 2) กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Band pass filter)
- 3) กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการปรับแต่งความเฉื่อยเสมือนร่วมกับการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Band pass filter)
- 4) กรณีศึกษาเมื่อมีความผันผวนจากโหลด พีวี และระลอกคลื่นแรงบิด
- 5) กรณีศึกษาเมื่อมีความผันผวนจากโหลด พีวี และระลอกคลื่นแรงบิด โดยพิจารณาการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Band pass filter)

5.1 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการปรับแต่งความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

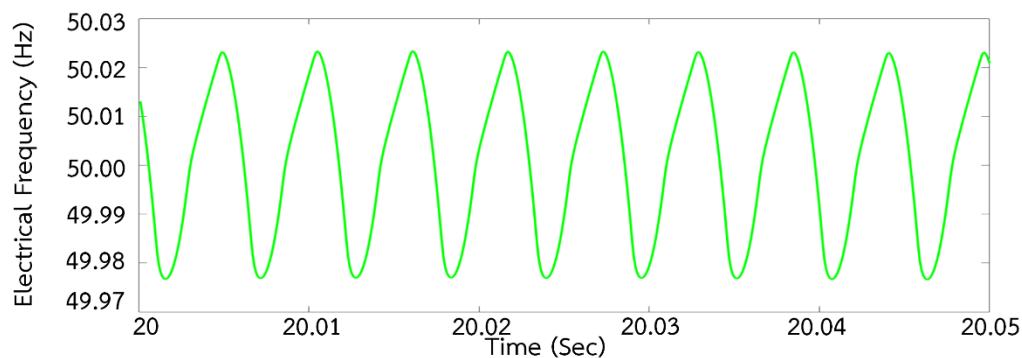
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาเปรียบเทียบการปรับค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ในการจำลองการทำงานของไมโครกริดแม่สะเรียงในบทที่ 4 โดยแบ่งเป็นการพิจารณาการเพิ่มขึ้น และลดลงของค่าความเฉื่อยเสมือน ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ความระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่กรณีศึกษาที่ 5.1.1 – 5.1.5

กรณีศึกษาที่	M	D
5.1.1 พารามิเตอร์เดิม	1.5	5
5.1.2 เพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือน 10 เท่า	15	5
5.1.3 เพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือน 100 เท่า	150	5
5.1.4 ลดค่าความเฉื่อยเสมือน 10 เท่า	0.15	5
5.1.5 ลดค่าความเฉื่อยเสมือน 100 เท่า	0.015	5

5.1.1 กรณีศึกษาเมื่อใช้พารามิเตอร์เดิม

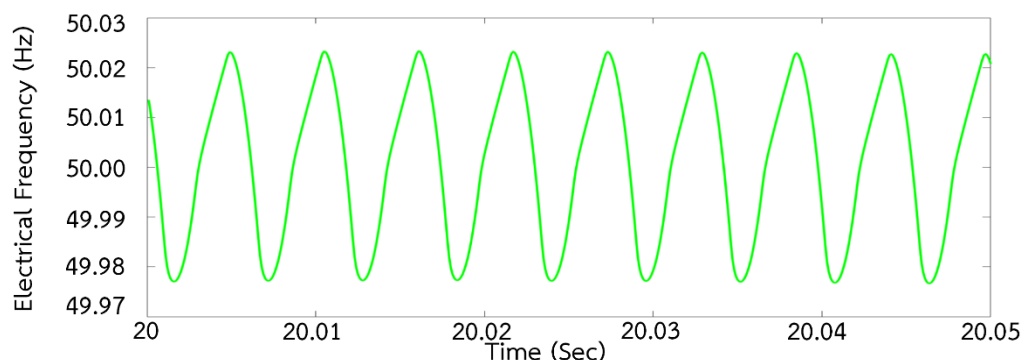
กรณีศึกษานี้พิจารณาการใช้พารามิเตอร์เดิมของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีผลของระลอกคลื่นแรงบิด ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.1.1 แสดงดังรูปที่ 5.1 จะเมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.023 Hz ซึ่งส่งผลให้เกิดการทำงานของ การควบคุมแบบทฤษฎีของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริด



รูปที่ 5.1 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.1.1

5.1.2 กรณีศึกษาเมื่อเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบระบบกักเก็บแบตเตอรี่ 10 เท่า

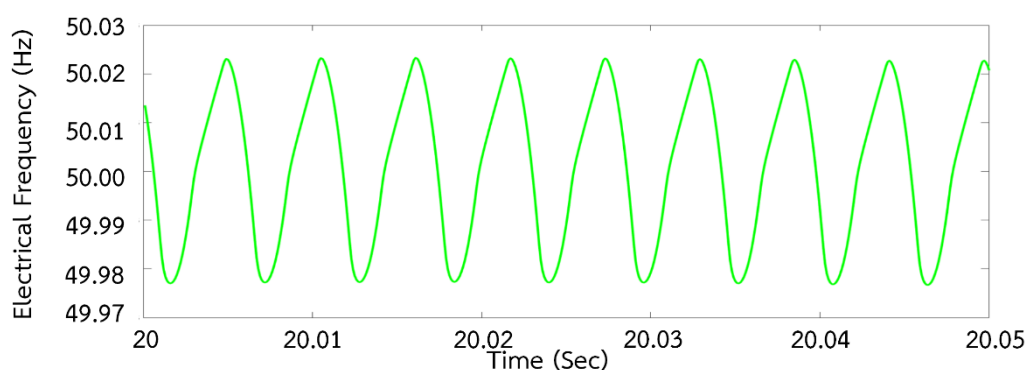
กรณีศึกษานี้พิจารณาการเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 10 เท่า เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีผลของระลอกคลื่นแรงบิด ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.1.2 แสดงดังรูปที่ 5.2 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.023 Hz ซึ่งยังส่งผลให้เกิดการทำงานของ การควบคุมแบบทฤษฎีของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริด จะพบว่า การปรับค่าความเฉื่อยเสมือนให้มีค่ามากขึ้น 10 เท่า ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ไม่สามารถช่วยลดการเกิดผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงบิดได้



รูปที่ 5.2 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.1.2

5.1.3 กรณีศึกษาเมื่อเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บระบบแบตเตอรี่ 100 เท่า

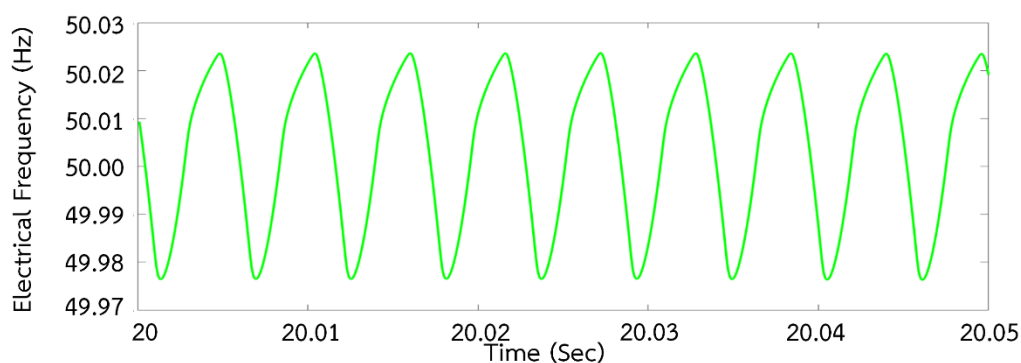
กรณีศึกษานี้พิจารณาการเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 100 เท่า เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีผลของระลอกคลื่นแรงบิด ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.1.3 แสดงดังรูปที่ 5.3 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ 0.023 Hz จะพบว่า การปรับค่าความเฉื่อยเสมือนให้มีค่ามากขึ้น 100 เท่า ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ไม่สามารถช่วยลดการเกิดผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงบิดได้



รูปที่ 5.3 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.1.3

5.1.4 กรณีศึกษาเมื่อลดค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 10 เท่า

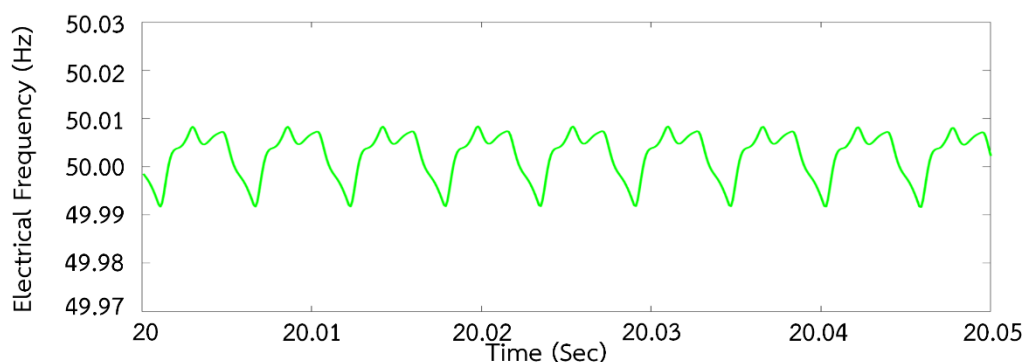
กรณีศึกษานี้พิจารณาการเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 10 เท่า เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีผลของระลอกคลื่นแรงบิด ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.1.3 แสดงดังรูปที่ 5.4 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ 0.023 Hz จะพบว่า การปรับค่าความเฉื่อยเสมือนให้มีค่าน้อยลง 10 เท่า ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ไม่สามารถช่วยลดการเกิดผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงบิดได้



รูปที่ 5.4 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.1.4

5.1.5 กรณีศึกษาเมื่อลดค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 100 เทา

กรณีศึกษานี้พิจารณาการเพิ่มค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ 100 เทา เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีผลของระลอกคลื่นแรงบิด ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.1.3 แสดงดังรูปที่ 5.5 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.008 Hz ซึ่งไม่ส่งผลให้ไม่เกิดการ ทำงานของการควบคุมแบบหุติยภูมิของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริด จะพบว่า การปรับค่าความเฉื่อยเสมือนให้มีค่าน้อยลง 100 เทา ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะช่วยลดการเกิดผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงบิดได้



รูปที่ 5.5 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.1.5

5.2 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter)

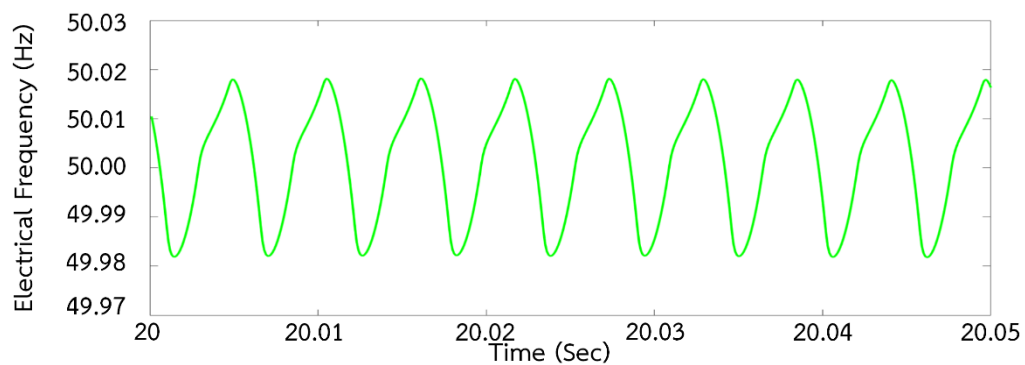
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่เบี่ยงเบนจากผ่านวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ จากที่กล่าวมาข้างต้นในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.6 จะพบว่าความถี่ของระลอกคลื่นแรงบิดจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 178 Hz งานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ได้พิจารณาใช้วงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) สำหรับกรองความถี่ในช่วง 178 ± 2 Hz สำหรับกรองสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลทั้ง 5 เครื่อง เพื่อนำมาชดเชยความถี่เบี่ยงเบนที่เกิดจากผลของระลอกคลื่นแรงบิด โดยจะพิจารณาการชดเชยความถี่ด้วยตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) ดังตารางที่ 5.2 กำหนดพารามิเตอร์ $M = 1.5$ และ $D = 5$

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) กรณีศึกษาที่ 5.2.1 – 5.2.3

กรณีศึกษาที่	K_p
กรณีศึกษาที่ 5.2.1	0.5
กรณีศึกษาที่ 5.2.2	1
กรณีศึกษาที่ 5.2.3	1.5

5.2.1 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 0.5

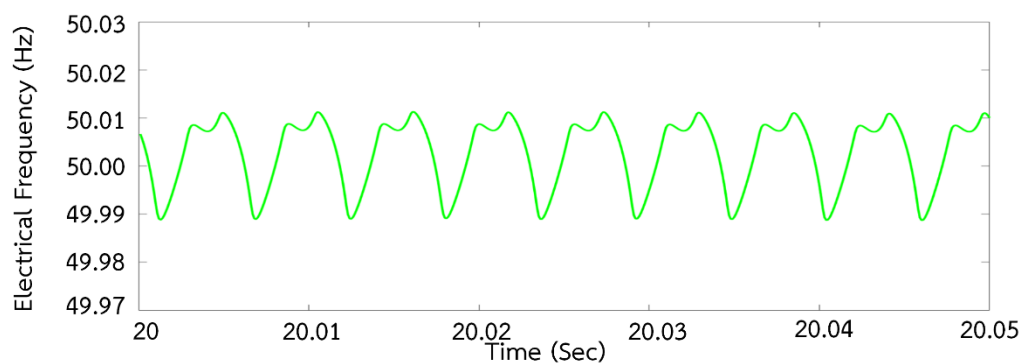
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่เบี่ยงเบนจากผ่านวงจรรองความถี่ผ่านแถบ เมื่อมีอัตราขยายของตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) = 0.5 ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.2.2 แสดงดังรูปที่ 5.6 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.018 Hz ซึ่งอยู่ในช่วงที่จะไม่เกิดการ ทำงานของการควบคุมแบบหตุติยภูมิเมื่อกำหนดแถบใ้การตอบสนองในช่วง ± 0.02 Hz



รูปที่ 5.6 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.2.1

5.2.2 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 1

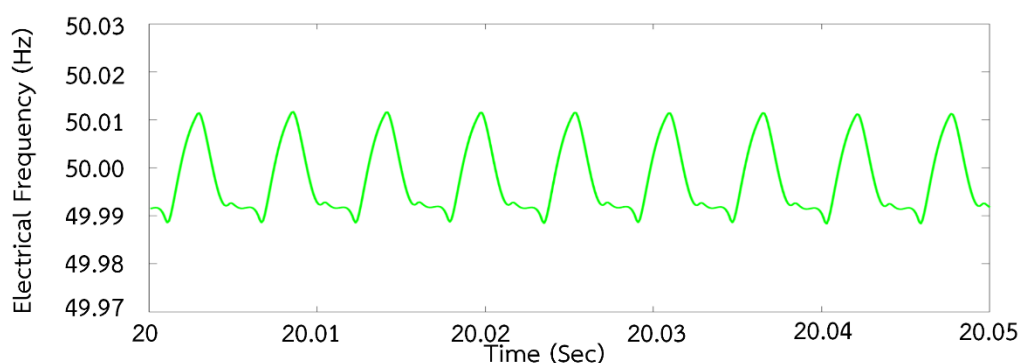
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่เบี่ยงเบนจากผ่านวงจรรองความถี่ผ่านแถบ เมื่อมีอัตราขยายของตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) = 1 ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีที่ 5.2.2 แสดงดังรูปที่ 5.7 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.011 Hz ซึ่งอยู่ในช่วงที่จะไม่เกิดการ ทำงานของการควบคุมแบบหตุติยภูมิเมื่อกำหนดแถบใ้การตอบสนองในช่วง ± 0.02 Hz



รูปที่ 5.7 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.2.2

5.2.3 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 1.5

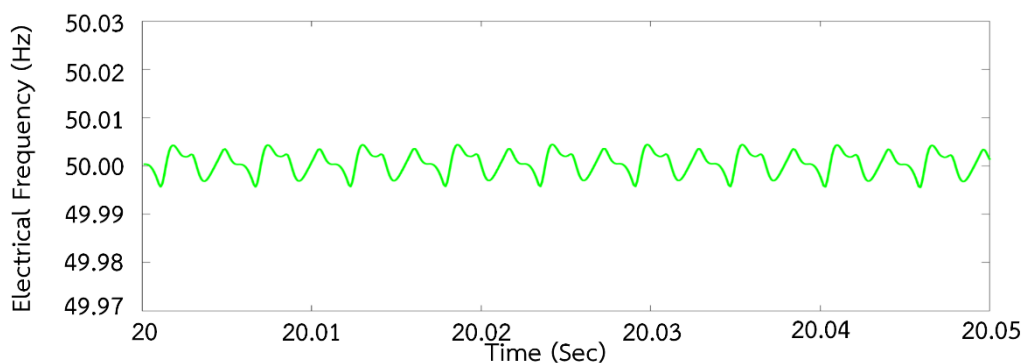
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาการใช้การชดเชยความถี่เบี่ยงเบนจากผ่านวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ เมื่อมีอัตราขยายของตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) = 1.5 ความถี่ระบบไฟฟ้าในกรณีนี้ 5.2.2 แสดงดังรูปที่ 5.8 เมื่อพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดจะทำให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เบี่ยงเบนอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.011 Hz และเกิดการเลื่อนของมุมเฟสเนื่องจากการชดเชยที่มากเกินไป



รูปที่ 5.8 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.2.3

5.3 กรณีศึกษาเมื่อพิจารณาการปรับแต่งความเฉื่อยเสมือนร่วมกับการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter)

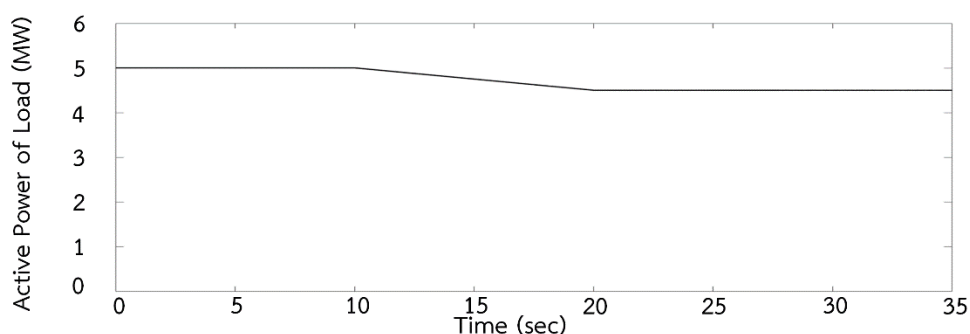
กรณีศึกษาที่ 2 พบว่าค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบสัดส่วนที่เหมาะสมคือมีค่าประมาณ 1 ในกรณีศึกษาจริงได้ใช้การปรับค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ โดยมีค่าพารามิเตอร์ความเฉื่อยเสมือน $M = 0.015$ และค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบสัดส่วน $K_p = 1$ ค่าความถี่ไฟฟ้าในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 5.9 พบว่าความถี่ไฟฟ้ามีค่าระลอกคลื่นที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.004 Hz จะสังเกตได้ว่าการปรับความเฉื่อยเสมือนร่วมกับการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (Band pass filter) จะช่วยลดผลกระทบเนื่องจากระลอกคลื่นแรงบิดได้มากที่สุด



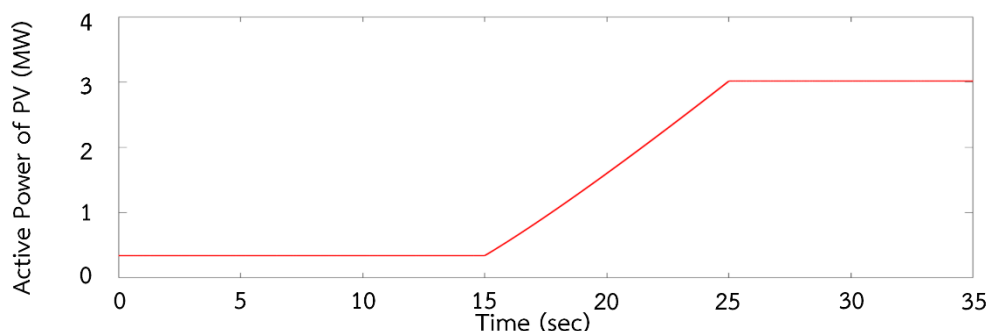
รูปที่ 5.9 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.3

5.4 กรณีศึกษาเมื่อมีความผันผวนจากโหลด พีวี และระลอกคลื่นแรงบิด

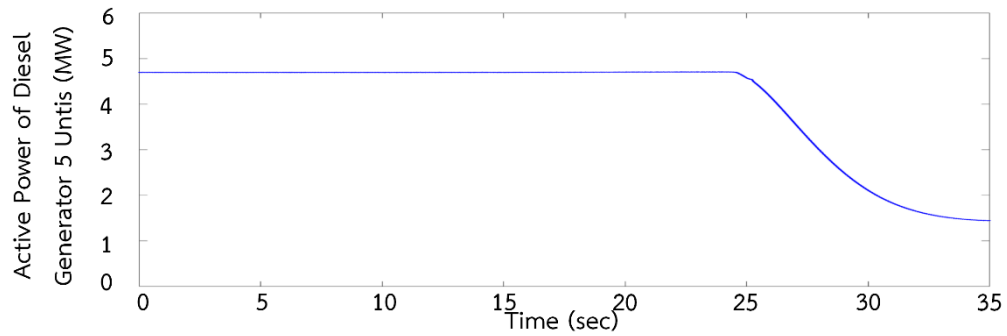
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดร่วมกับความผันผวนจากโหลด และพีวีภายในระยะเวลา 35 วินาที เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด 10 % ภายในระยะเวลา 10 วินาที ดังแสดงดังรูปที่ 5.10 และพิจารณาช่วงที่เกิดความผันผวนมากที่สุดจากข้อมูลของกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแสงอาทิตย์ภายในไมโครกริดแม่สะเรียงดังแสดงในรูปที่ 5.11 จากการจำลองพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 ตามลำดับ ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ 0.247715 Hz ดังแสดงในรูปที่ 5.14 แรงแดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -0.3853 % ดังแสดงในรูปที่ 5.15 ซึ่งความถี่และแรงแดันไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ. เมื่อพิจารณาการทำงานของ การควบคุมความถี่โหลดจะพบว่าระลอกคลื่นแรงบิดจะส่งผลให้เกิดการทำงานของ การควบคุมความถี่โหลดเนื่องจากระลอกคลื่นแรงบิดมีค่าอยู่ในช่วง ± 0.023 Hz ดังแสดงในรูปที่ 5.16 เมื่อกำหนดช่วงแถบไร้การตอบสนองมีค่าอยู่ในช่วง ± 0.02 Hz ทำให้คำสั่งสำหรับการควบคุมความถี่โหลดทำงานเนื่องมาจากระลอกคลื่นแรงบิดดังแสดงในรูปที่ 5.17 โดยคำสั่งดังกล่าวจะไปสั่งการทำงานของตัวควบคุมแบบหุติยภูมิซึ่งสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปป้อนให้ส่วนควบคุมแบบหุติยภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 5.18 และรูปที่ 5.19 ตามลำดับ



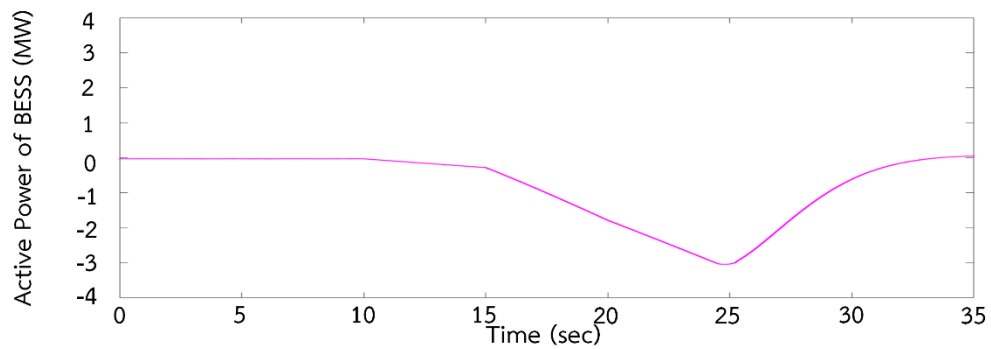
รูปที่ 5.10 กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดในกรณีศึกษาที่ 5.4 – 5.5



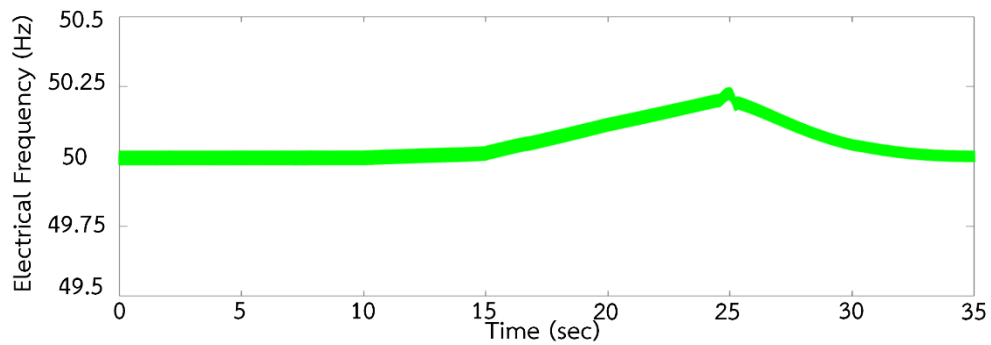
รูปที่ 5.11 กำลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาที่ 5.4 – 5.5



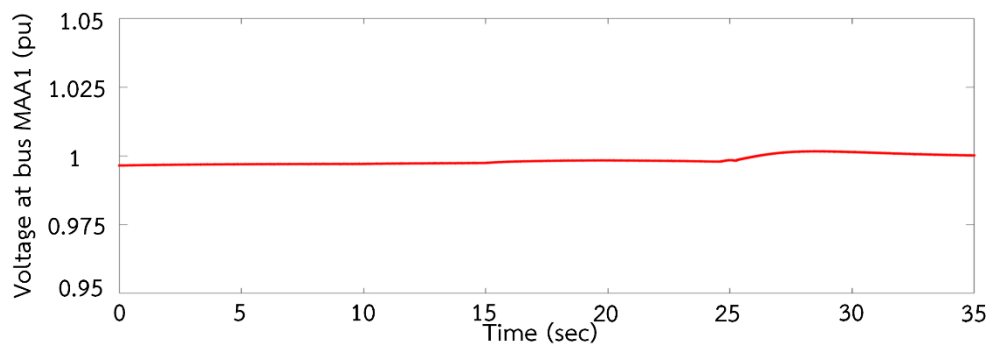
รูปที่ 5.12 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 5.4



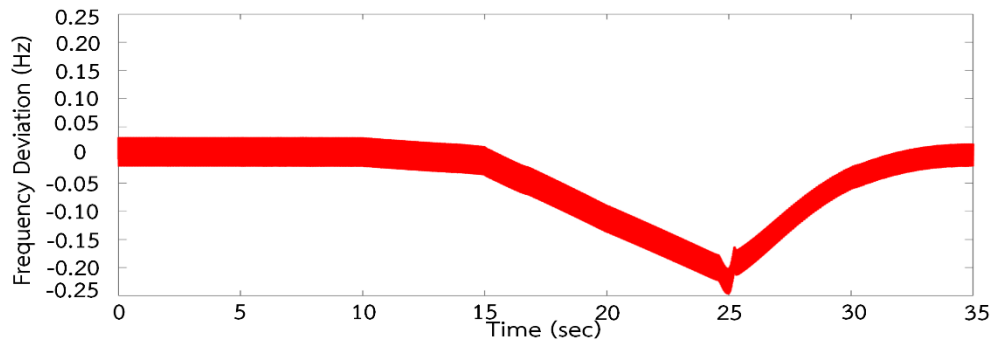
รูปที่ 5.13 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5.4



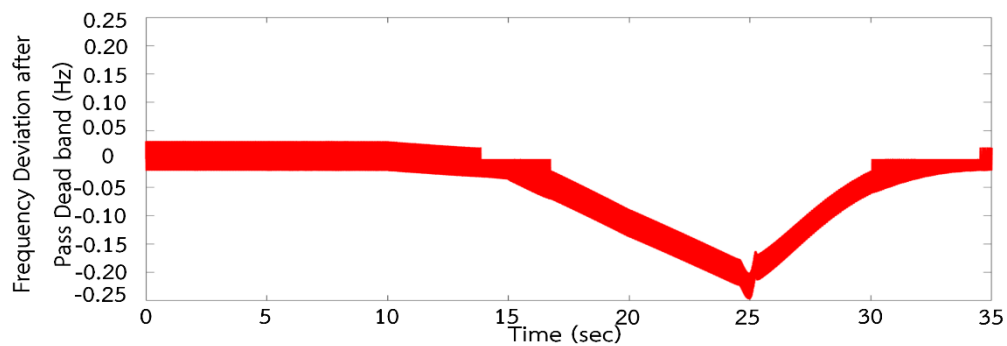
รูปที่ 5.14 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.4



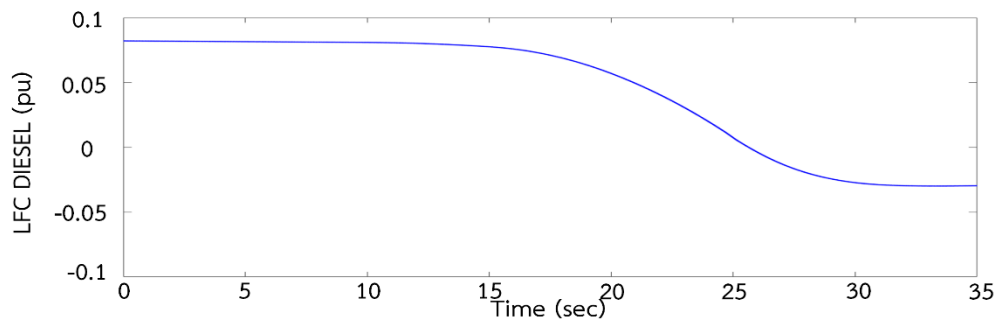
รูปที่ 5.15 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 5.4



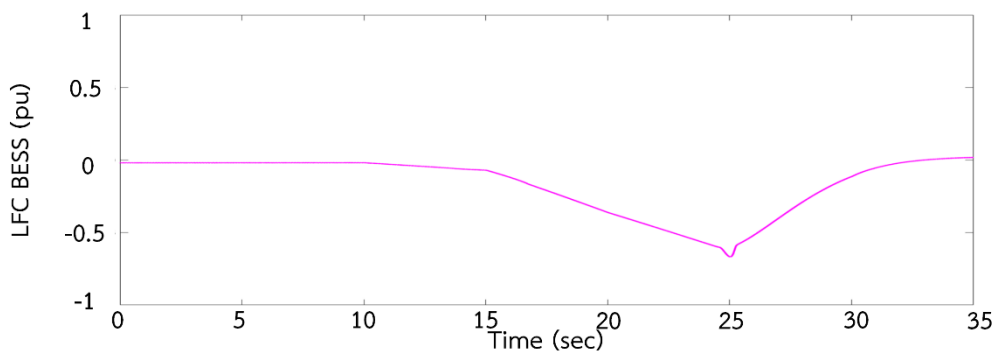
รูปที่ 5.16 ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสำหรับคำสั่งการควบคุมความถี่โหลด กรณีที่ 5.4



รูปที่ 5.17 ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนหลังจากผ่านแถบไร้การตอบสนอง กรณีศึกษาที่ 5.4



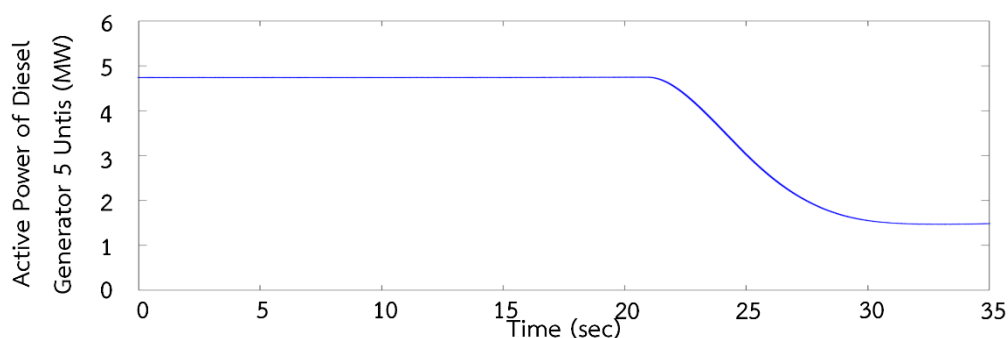
รูปที่ 5.18 สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล กรณีศึกษาที่ 5.4



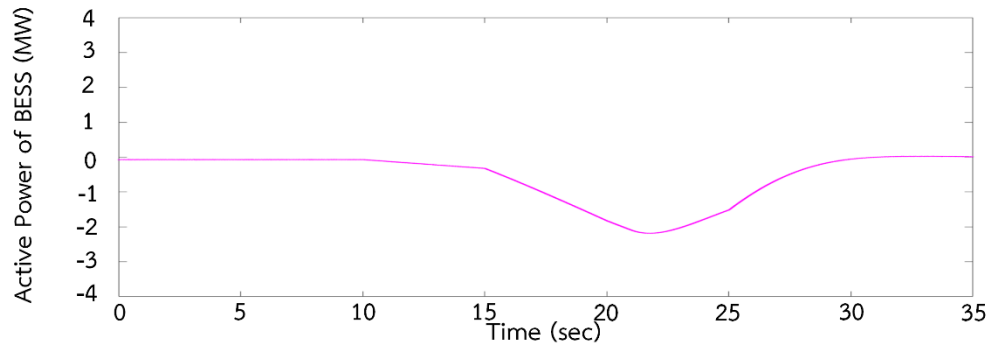
รูปที่ 5.19 สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของระบบแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5.4

5.5 กรณีศึกษาเมื่อมีความผันผวนจากโหลด พีวี และระลอกคลื่นแรงบิดโดยพิจารณาการชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Band pass filter)

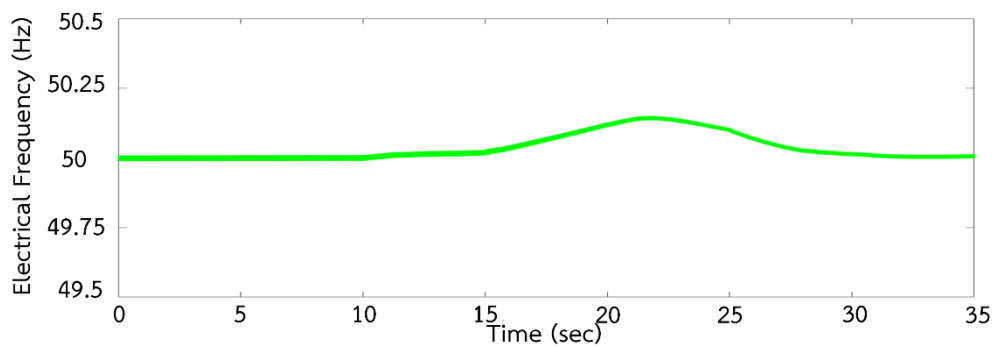
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาผลของระลอกคลื่นแรงบิดร่วมกับความผันผวนจากโหลด และพีวีภายในระยะเวลา 35 วินาที เมื่อเกิดความผันผวนของโหลด 10 % ภายในระยะเวลา 10 วินาที ดังแสดงดังรูปที่ 5.10 และพิจารณาช่วงที่เกิดความผันผวนมากที่สุดจากข้อมูลของกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแสงอาทิตย์ภายในไมโครกริดแม่สะเรียงดังแสดงในรูปที่ 5.11 จากการจำลองพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5.20 และรูปที่ 5.21 ตามลำดับ ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ 0.15064 Hz ดังแสดงในรูปที่ 5.22 แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ -0.3749 % ดังแสดงในรูปที่ 5.23 ซึ่งความถี่และแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟผ. เมื่อพิจารณาพิจารณาการทำงานของระบบควบคุมความถี่โหลดจะพบว่าระลอกคลื่นแรงบิดจะไม่ส่งผลให้เกิดการทำงานของระบบควบคุมความถี่โหลดเนื่องจากระลอกคลื่นแรงบิดมีค่าอยู่ในช่วง ± 0.011 Hz ดังแสดงในรูปที่ 5.24 เมื่อกำหนดช่วงแถบรัการตอบสนองมีค่าอยู่ในช่วง ± 0.02 Hz ทำให้คำสั่งสำหรับการควบคุมความถี่โหลดจะไม่เกิดการดำเนินงานเนื่องจากผลกระทบของระลอกคลื่นแรงบิดดังแสดงในรูปที่ 5.25 โดยคำสั่งดังกล่าวจะไปสั่งการทำงานของตัวควบคุมแบบทฤษฎีภูมิซึ่งสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปป้อนให้ส่วนควบคุมแบบทฤษฎีภูมิของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 5.26 และรูปที่ 5.27 ตามลำดับ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะพบว่าเมื่อใช้การชดเชยความถี่จากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบของระบบแบตเตอรี่จะช่วยลดภาระการทำงานของส่วนของการควบคุมแบบทฤษฎีภูมิลงได้ดังแสดงใน รูปที่ 5.25



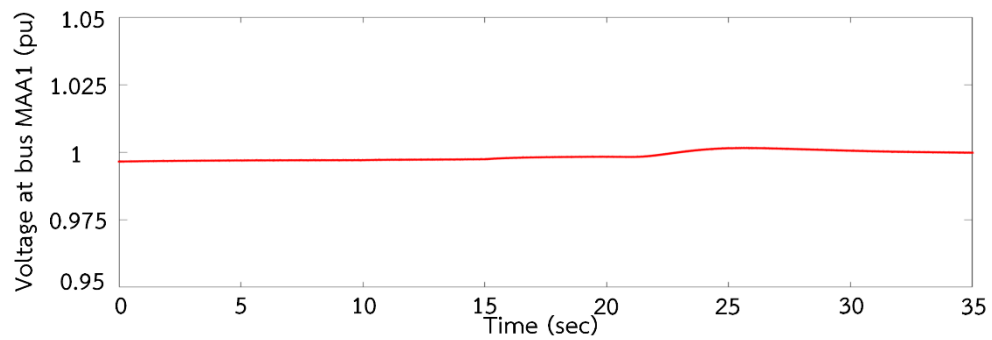
รูปที่ 5.20 กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 5 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 5.5



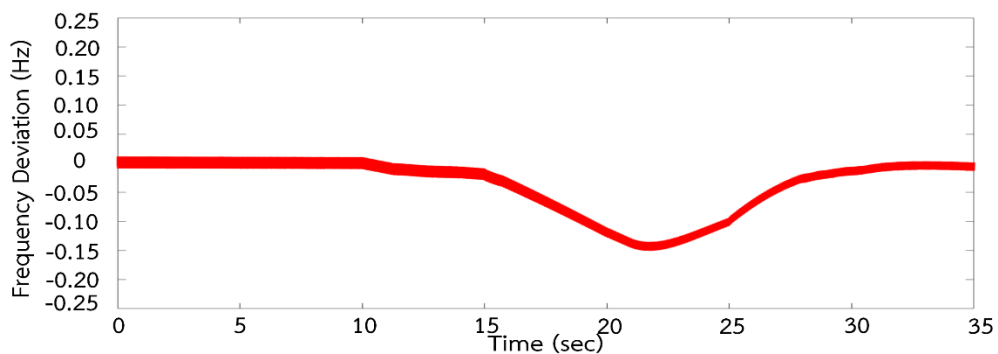
รูปที่ 5.21 กำลังไฟฟ้าจริงของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5.5



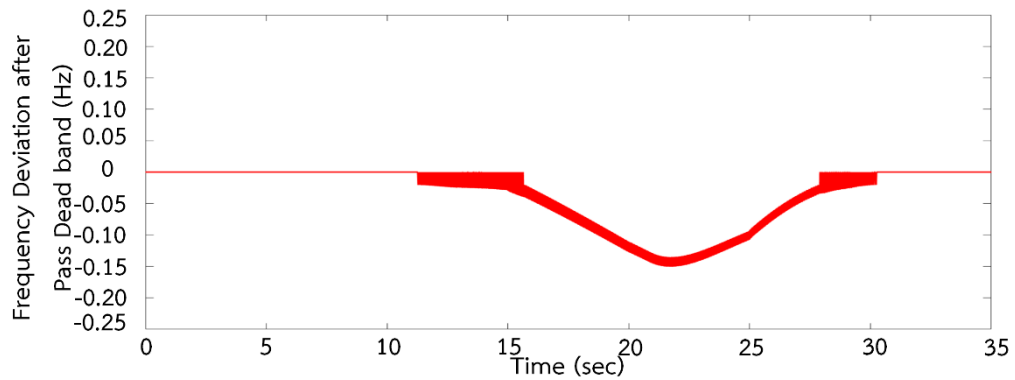
รูปที่ 5.22 ความถี่ไฟฟ้าของระบบ กรณีศึกษาที่ 5.5



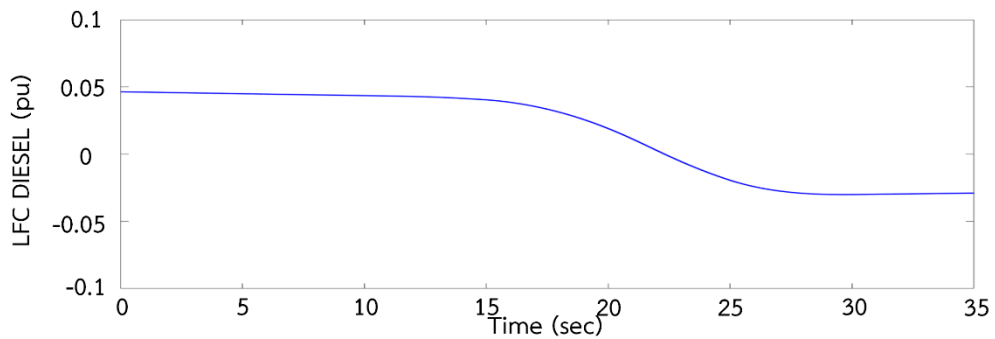
รูปที่ 5.23 แรงดันไฟฟ้าที่บัสแรงดัน 22 kV ของไมโครกริดแม่สะเรียง กรณีศึกษาที่ 5.5



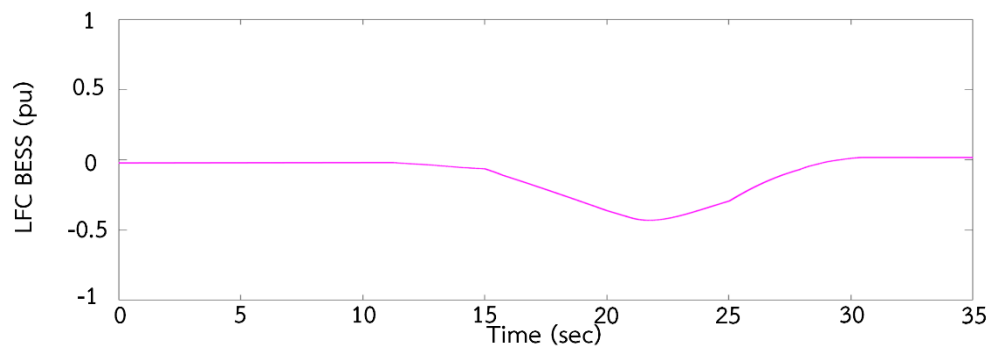
รูปที่ 5.24 ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสำหรับคำสั่งการควบคุมความถี่โหลด กรณีที่ 5.4



รูปที่ 5.25 ความถี่ไฟฟ้าเบี่ยงเบนสำหรับคำสั่งการควบคุมความถี่โหลด กรณีที่ 5.5



รูปที่ 5.26 สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล กรณีศึกษาที่ 5.5



รูปที่ 5.27 สัญญาณคำสั่งควบคุมความถี่โหลดของระบบแบตเตอรี่ กรณีศึกษาที่ 5.5

บทที่ 6

บทสรุป

ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิทยานิพนธ์นี้ชี้ให้เห็นว่า ระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงของ กฟภ. หากเกิดปัญหาขัดข้องไม่สามารถรับกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าฮอด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าภายในสถานีไฟฟ้าแม่สะเรียง ทำให้สถานีไฟฟ้าแม่สะเรียงสามารถทำงานในโหมดแยกโดดได้ โดยอาศัยการควบคุมความถี่จากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่ทำหน้าที่เสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซิงโครนัส ร่วมกับการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพื่อช่วยกันควบคุมให้แรงดันและความถี่ของระบบไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะประกอบด้วย การควบคุมแบบป้อนกลับ และการควบคุมแบบหัตถ์สำหรับควบคุมความถี่โหลดเพื่อลดความผันผวนของโหลดและกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งกำลังผลิตติดตั้ง 4 MW ในอีกส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงปัญหาการเกิดระลอกคลื่นแรงบิดเนื่องจากการทำงานของกระบอกสูบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลซึ่งจะส่งผลให้เกิดระลอกคลื่นความถี่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าทำให้เกิดการทำงานของระบบควบคุมแบบหัตถ์จึงจำเป็นต้องหาวิธีแก้ไขโดยในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการปรับตั้งค่าความเฉื่อยเสมือนของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ และชดเชยความถี่ไฟฟ้าจากวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการควบคุมแบบหัตถ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่จะช่วยลดความผันผวนได้มากที่สุด โดยอาศัยแนวทางการออกแบบค่าคงตัวเวลาของการควบคุมแบบหัตถ์ให้เหมาะสมเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่ควบคุมในส่วนที่มีความผันผวนต่ำ และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่รับผิดชอบเฉพาะในส่วนความผันผวนสูงนั้นจะให้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เป็นตัวช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งจะมีผลให้ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ไม่ทำงานมากจนเกินไปทำให้ระบบไมโครกริดสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น โดยยังสามารถควบคุมความถี่เบี่ยงเบนและแรงดันไฟฟ้าในโหมดการทำงานแยกโดดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ. ได้ และจากผลการวิจัยเมื่อพิจารณาผลกระทบจากระลอกคลื่นแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะพบว่า การใช้วงจรกรองความถี่ผ่านแถบช่วยลดผลกระทบดังกล่าวให้อยู่ภายใต้การทำงานของแถบรับการตอบสนองของการควบคุมแบบหัตถ์ได้อีกด้วย

บรรณานุกรม

1. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, โครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน (คพล.). 2018.
2. Ulbig, A., T. Borsche, and G. Andersson, Impact of Low Rotational Inertia on Power System Stability and Operation. IFAC Proceedings Volumes, 2013. 47: p. 7290-7297.
3. Kpoto, K., A.M. Sharma, and A. Sharma, Effect Of Energy Storage System (ESS) in Low Inertia Power System with High Renewable Energy Sources. 2019 Fifth International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), 2019: p. 1-7.
4. Husain, A., V. Bui, and H. Kim. Demand Response for Enhancing Survivability of Microgrids During Islanded Operation. in TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference. 2018.
5. DOE, U. Microgrid Definition. Available from: https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/presentations/nesc_workshop_microgrids-back_to_the_future.pdf.
6. Marnay, C., et al. Microgrid Evolution Roadmap. in 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). 2015.
7. Feng, W., et al., A review of microgrid development in the United States – A decade of progress on policies, demonstrations, controls, and software tools. Applied Energy, 2018. 228: p. 1656-1668.
8. Wagman, D. First Utility-Scale Microgrid in U.S. Enters Service. 2017.
9. Østergaard, J. and J.E. Nielsen. THE BORNHOLM POWER SYSTEM An overview. 2010.
10. Bayindir, R., et al., Investigation on north American microgrid facility. International Journal of Renewable Energy Research, 2015. 5: p. 558-574.
11. Irie, H., et al., The Sendai Microgrid Operational Experience in the Aftermath of the Tohoku Earthquake: A Case Study. 2013.

12. สำนักงานนโยบายแผนพลังงาน, โครงการพัฒนาระบบสมาร์ตกริดจังหวัด แม่ฮ่องสอน. . 2017.
13. Chen, L. and S. Mei, An integrated control and protection system for photovoltaic microgrids. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2015. 1: p. 36-42.
14. Balaguer, I.J., et al., Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011. 58(1): p. 147-157.
15. รักชิณา ขณะฤกษ์, วิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และการปรับตั้งระบบป้องกันสำหรับไมโครกริดกระแสสลับของจังหวัดแม่ฮ่องสอน, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2016, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. Kundur, P., N.J. Balu, and M.G. Lauby, Power system stability and control. The EPRI power system engineering series. 1994, New York: McGraw-Hill.
17. Nahid Al, M., R. Yan, and T.K. Saha. Cascading contingencies in low inertia power systems: Frequency response challenges and a potential solution. in 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2017.
18. Liu, J., Y. Miura, and T. Ise, Comparison of Dynamic Characteristics Between Virtual Synchronous Generator and Droop Control in Inverter-Based Distributed Generators. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016. 31(5): p. 3600-3611.
19. Tiwari, S.K., B. Singh, and P.K. Goel. Control of wind diesel hybrid system with bess for optimal operation. in 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON). 2016.
20. Stavrakakis, G.S. and G.N. Kariniotakis, A general simulation algorithm for the accurate assessment of isolated diesel-wind turbines systems interaction. I. A general multimachine power system model. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1995. 10(3): p. 577-583.
21. Neely, J.C., et al. An economical diesel engine emulator for micro-grid research. in International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. 2012.
22. Benhamed, S., et al. Dynamic modeling of diesel generator based on electrical and mechanical aspects. in 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). 2016.

23. Tonkoski, R., L.A.C. Lopes, and D. Turcotte. Active power curtailment of PV inverters in diesel hybrid mini-grids. in 2009 IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC). 2009.
24. Tsai, C., et al. Control Strategy of PV/Diesel/Battery Hybrid System for Island-Based Microgrid. in 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). 2018.
25. Torres, M. and L.A.C. Lopes. Frequency control improvement in an autonomous power system: An application of virtual synchronous machines. in 8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia. 2011.
26. Krishnamurthy, S., T.M. Jahns, and R.H. Lasseter. The operation of diesel gensets in a CERTS microgrid. in 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2008.
27. ชนกฤต กิตติวรารัตน์, วิธีการรีซิงโครไนซ์ของระบบไมโครกริดอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2018, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
28. ศิริวัฒน์ เตชะพกาพงษ์, กรณีศึกษาการใช้ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเพื่อลดผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อระบบไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2017, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
29. Anderson, P.M. and M. Mirheydar, Analysis of a diesel-engine driven generating unit and the possibility for voltage flicker. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1995. 10(1): p. 37-47.
30. Idlbi, B., DYNAMIC SIMULATION OF A PV-DIESEL-BATTERY HYBRID PLANT FOR OFF GRID ELECTRICITY SUPPLY. 2012, The University of Kassel and Cairo University.
31. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อบนโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559. 2016.
32. PowerFactory Version 15.1 Built-in models in the library of PowerFactory. 2011.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก.

แผ่นข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในไมโครกริดแม่สะเรียง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลโดยอ้างอิงจากแผ่นข้อมูลดังนี้



www.FGWilson.com



P1250P3/P1375E3

Output Ratings		
Voltage, Frequency	Prime*	Standby*
400V, 50 Hz	1250.0 kVA / 1000.0 kW	1375.0 kVA / 1100.0 kW
	- / -	- / -

Ratings at 0.8 power factor.

Please refer to the output ratings technical data section for specific generator set outputs per voltage.

Prime Rating

These ratings are applicable for supplying continuous electrical power (at variable load) in lieu of commercially purchased power. There is no limitation to the annual hours of operation and this model can supply 10% overload power for 1 hour in 12 hours.

Standby Rating

These ratings are applicable for supplying continuous electrical power (at variable load) in the event of a utility power failure. No overload is permitted on these ratings. The alternator on this model is peak continuous rated (as defined in ISO 8528-3).

Standard Reference Conditions

Note: Standard reference conditions 25°C (77°F) Air Inlet Temp, 100m (328 ft) A.S.L. 30% relative humidity.

Fuel consumption data at full load with diesel fuel with specific gravity of 0.85 and conforming to BS2869: 1998, Class A2.

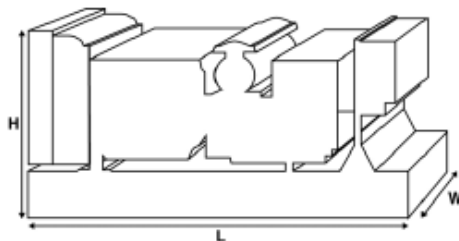


Image for illustration purposes only.

Ratings and Performance Data		
Engine Make & Model:	Perkins® 4012-46TW/G2A	
Alternator manufactured for FG Wilson by:	Leroy Somer	
Alternator Model:	LL8224H	
Control Panel:	PowerWizard 1.1+	
Base Frame:	Heavy Duty Fabricated Steel	
Circuit Breaker Type:	3 Pole ACB - Option	
Frequency:	50 Hz	60 Hz
Engine Speed: RPM	1500	-
Fuel Tank Capacity:	-	
litres (US gal)		
Fuel Consumption: (l/hr (US gal/hr))		
(100% Load)	- Prime	258.0 (68.2) -
	- Standby	284.9 (75.3) -

Available Options

FG Wilson offer a range of optional features to tailor our generating sets to meet your power needs. Options include:

- Upgrade to CE Certification
- A wide range of Sound Attenuated Enclosures
- A variety of generating set control and synchronising panels
- Additional alarms and shutdowns
- A selection of exhaust silencer noise levels

For further information on all of the standard and optional features accompanying this product please contact your local Dealer or visit: www.FGWilson.com

Dimensions and Weights

Length (L) mm (in)	Width (W) mm (in)	Height (H) mm (in)	Dry kg (lb)	Wet kg (lb)
4788 (188.5)	1895 (74.6)	2450 (96.5)	8883 (1958.4)	9079 (2001.6)
Dry = With Lube Oil		Wet = With Lube Oil and Coolant		

Ratings in accordance with ISO 8828, ISO 9046, IEC 60084, BS6000 and NEMA MG-1/22. (Generating set pictured may include optional accessories.)

รูปที่ ก.1 แผ่นข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเครื่องเก่าแผ่นที่ 1

Engine Technical Data	
No. of Cylinders / Alignment:	12 / Vee
Cycle:	4 Stroke
Bore / Stroke: mm (in)	160.0 (6.3)/190.0 (7.5)
Induction:	Turbocharged
Cooling Method:	Water
Governing Type:	Electronic
Governing Class:	ISO 8528 G2
Compression Ratio:	13.1:1
Displacement: l (cu. in)	45.8 (2797.5)
Moment of Inertia: kg m ² (lb/in ²)	19.30 (65951)
Engine Electrical System:	
- Voltage / Ground	24/Negative
- Battery Charger Amps	40
Weight: kg (lb)	- Dry 4440 (9788) - Wet 4604 (10150)

Performance	50 Hz	60 Hz
Engine Speed: rpm	1500	-
Gross Engine Power: kW (hp)		
- Prime	1106.0 (1483.0)	-
- Standby	1217.0 (1632.0)	-
BMEP: kPa (psi)		
- Prime	1930.0 (279.9)	-
- Standby	2124.0 (308.0)	-

Fuel System				
Fuel Filter Type:	Replaceable Element			
Recommended Fuel:	Class A2 Diesel			
Fuel Consumption: l/hr (US gal/hr)				
	110%	100%	75%	50%
Prime	Load	Load	Load	Load
50 Hz	284.9 (75.3)	258.0 (68.2)	197.0 (52.0)	145.0 (38.3)
60 Hz	-	-	-	-
	110%	100%	75%	50%
Standby	Load	Load	Load	Load
50 Hz	284.9 (75.3)	214.4 (56.6)	154.7 (40.9)	
60 Hz	-	-	-	

(Based on diesel fuel with a specific gravity of 0.84 and conforming to B02869, Class A2)

Air Systems	50 Hz	60 Hz
Air Filter Type:	Replaceable Element	
Combustion Air Flow: m ³ /min (cfm)		
- Prime	102.0 (3602)	-
- Standby	109.0 (3849)	-
Max. Combustion Air Intake Restriction: kPa (in H ₂ O)	3.7 (14.9)	-

Cooling System	50 Hz	60 Hz
Cooling System Capacity: l (US gal)	196.0 (51.8)	-
Water Pump Type:	Centrifugal	
Heat Rejected to Water & Lube Oil:		
kW (Btu/min)	- Prime 372.0 (21155) - Standby 401.0 (22804)	-
Heat Radiation to Room: Heat radiated from engine and alternator		
kW (Btu/min)	- Prime 132.7 (7547) - Standby 148.5 (8445)	-
Radiator Fan Load: kW (hp)	32.0 (42.9)	-
Radiator Cooling Airflow: m ³ /min (cfm)	1116.0 (3941.1)	-
External Restriction to Cooling Airflow: Pa (in H ₂ O)	250 (1.0)	-

Cooling system designed to operate in ambient conditions up to 50°C (122°F). Contact your local FG Wilson Dealer for power ratings at specific site conditions.

Lubrication System	
Oil Filter Type:	Spin-On, Full Flow
Total Oil Capacity: l (US gal)	177.0 (46.8)
Oil Pan: l (US gal)	159.0 (42.0)
Oil Type:	API CH4 15W-40
Oil Cooling Method:	Water

Exhaust System	50 Hz	60 Hz
Silencer Type:	Industrial	
Silencer Model & Quantity:	IND-Option (1)	
Pressure Drop Across Silencer System: kPa (in Hg)	2.30 (0.679)	-
Silencer Noise Reduction Level: dB	13.2	-
Maximum Allowable Back Pressure: kPa (in Hg)	5.0 (1.5)	-
Exhaust Gas Flow: m ³ /min (cfm)		
- Prime	230.0 (8122)	-
- Standby	230.0 (8122)	-
Exhaust Gas Temperature: °C (°F)		
- Prime	422 (792)	-
- Standby	422 (792)	-

รูปที่ ก.2 แผ่นข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเครื่องเก่าแผ่นที่ 2

Alternator Physical Data	
Manufactured for FG Wilson by:	Leroy Somer
Model:	LLB224H
No. of Bearings:	1
Insulation Class:	H
Winding Pitch Code:	2/3 - 6S
Wires:	6
Ingress Protection Rating:	IP23
Excitation System:	AREP
AVR Model:	R450M

Alternator Operating Data	
Overspeed: rpm	2250
Voltage Regulation: (Steady state)	+/- 0.5
Wave Form NEMA = TIF:	50
Wave Form IEC = THF:	2.0%
Total Harmonic content LL/LN:	3.5%
Radio Interference:	Suppression is in line with European Standard EN61000-6
Radiant Heat: kW (B _u /min)	
- 50 Hz	59.5 (3384)
- 60 Hz	-

Alternator Performance Data:	50 Hz			60 Hz	
	415/240V	400/230V	380/220V		
Data Item					
Motor Starting Capability* kVA	3093	2883	2613		
Short Circuit Capacity** %	300	300	300		
Reactances: Per Unit					
Xd	3.560	3.840	4.250		
X'd	0.250	0.270	0.290		
X''d	0.138	0.148	0.164		

Reactances shown are applicable to prime ratings.
 *Based on 30% voltage dip at 0.6 power factor.
 **With optional permanent magnet generator or AREP excitation.

Output Ratings: Technical Data 50 Hz				
Voltage	Prime:		Standby:	
	kVA	kW	kVA	kW
415/240V	1250.0	1000.0	1375.0	1100.0
400/230V	1250.0	1000.0	1375.0	1100.0
380/220V	1250.0	1000.0	1375.0	1100.0

Output Ratings: Technical Data 60 Hz				
Voltage	Prime:		Standby:	
	kVA	kW	kVA	kW

รูปที่ ก.3 แผ่นข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเครื่องเก่าแผ่นที่ 3

PI734B SPECIFICATIONS & OPTIONS



STANDARDS

Newage Stamford industrial generators meet the requirements of BS EN 60034 and the relevant sections of other national and international standards such as BS5000, VDE 0530, NEMA MG1-32, IEC60034, CSA C22.2-100, AS1359.

Other standards and certifications can be considered on request.

DESCRIPTION

The STAMFORD PI range of synchronous ac generators are brushless with a rotating field. They are separately excited by the STAMFORD Permanent Magnet Generator (PMG). This is a shaft mounted, high frequency, pilot exciter which provides a constant supply of clean power via the Automatic Voltage Regulator (AVR) to the main exciter. The main exciter output is fed to the main rotor, through a full wave bridge rectifier, protected by surge suppression.

VOLTAGE REGULATORS

The PI range generators, complete with a PMG, are available with one of two AVRs. Each AVR has soft start voltage build up and built in protection against sustained over-excitation, which will de-excite the generator after a minimum of 8 seconds.

Underspeed protection (UFRO) is also provided on both AVRs. The UFRO will reduce the generator output voltage proportional to the speed of the generator below a pre-settable level.

The **MX341 AVR** is two phase sensed with a voltage regulation of $\pm 1\%$. (see the note on regulation).

The **MX321 AVR** is 3 phase rms sensed with a voltage regulation of 0.5% rms (see the note on regulation). The UFRO circuit has adjustable slope and dwell for controlled recovery from step loads. An over voltage protection circuit will shutdown the output device of the AVR, it can also trip an optional excitation circuit breaker if required. As an option, short circuit current limiting is available with the addition of current transformers.

Both the MX341 and the MX321 need a generator mounted current transformer to provide quadrature droop characteristics for load sharing during parallel operation. Provision is also made for the connection of the STAMFORD power factor controller, for embedded applications, and a remote voltage trimmer.

WINDINGS & ELECTRICAL PERFORMANCE

All generator stators are wound to 2/3 pitch. This eliminates triplen (3rd, 9th, 15th ...) harmonics on the voltage waveform and is found to be the optimum design for trouble-free supply of non-linear loads. The 2/3 pitch design avoids excessive neutral currents sometimes seen with higher winding pitches. A fully connected damper winding reduces oscillations during paralleling. This winding, with the 2/3 pitch and carefully selected pole and tooth designs, ensures very low levels of voltage waveform distortion.

TERMINALS & TERMINAL BOX

Standard generators feature a main stator with 6 ends brought out to the terminals, which are mounted on the frame at the non-drive end of the generator. A sheet steel terminal box contains the AVR and provides ample space for the customers' wiring and gland arrangements. It has removable panels for easy access.

SHAFT & KEYS

All generator rotors are dynamically balanced to better than BS6861:Part 1 Grade 2.5 for minimum vibration in operation. Two bearing generators are balanced with a half key.

INSULATION/IMPREGNATION

The insulation system is class 'H', and meets the requirements of UL1448.

All wound components are impregnated with materials and processes designed specifically to provide the high build required for static windings and the high mechanical strength required for rotating components.

QUALITY ASSURANCE

Generators are manufactured using production procedures having a quality assurance level to BS EN ISO 9001.

NOTE ON REGULATION

The stated voltage regulation may not be maintained in the presence of certain radio transmitted signals. Any change in performance will fall within the limits of Criteria 'B' of EN 61000-6-2:2001. At no time will the steady-state voltage regulation exceed 2%.

Note: Continuous development of our products entitles us to change specification details without notice, therefore they must not be regarded as binding.

Front cover drawing is typical of the product range.

รูปที่ ก.4 แผ่นข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเครื่องใหม่แผ่นที่ 1



PI734B
WINDING 312

CONTROL SYSTEM	SEPARATELY EXCITED BY P.M.G.							
A.V.R.	MX341	MX321						
VOLTAGE REGULATION	± 1%	± 0.5 %	With 4% ENGINE GOVERNING					
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	REFER TO SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVES (page 7)							
INSULATION SYSTEM	CLASS H							
PROTECTION	IP23							
RATED POWER FACTOR	0.8							
STATOR WINDING	DOUBLE LAYER LAP							
WINDING PITCH	TWO THIRDS							
WINDING LEADS	6							
MAIN STATOR RESISTANCE	0.0016 Ohms PER PHASE AT 22°C STAR CONNECTED							
MAIN ROTOR RESISTANCE	1.67 Ohms at 22°C							
EXCITER STATOR RESISTANCE	17.5 Ohms at 22°C							
EXCITER ROTOR RESISTANCE	0.048 Ohms PER PHASE AT 22°C							
R.F.I. SUPPRESSION	BS EN 61000-6-2 & BS EN 61000-6-4, VDE 0875G, VDE 0875N. refer to factory for others							
WAVEFORM DISTORTION	NO LOAD < 1.5% NON-DISTORTING BALANCED LINEAR LOAD < 5.0%							
MAXIMUM OVERSPEED	2250 Rev/Min							
BEARING DRIVE END	BALL. 6228 C3							
BEARING NON-DRIVE END	BALL. 6319 C3							
	1 BEARING				2 BEARING			
WEIGHT COMP. GENERATOR	2760 kg				2710 kg			
WEIGHT WOUND STATOR	1306 kg				1306 kg			
WEIGHT WOUND ROTOR	1139 kg				1077 kg			
WR ² INERTIA	32.7498 kgm ²				31.7489 kgm ²			
SHIPPING WEIGHTS in a crate	2833kg				2779kg			
PACKING CRATE SIZE	194 x 105 x 154(cm)				194 x 105 x 154(cm)			
	50 Hz				60 Hz			
TELEPHONE INTERFERENCE	THF<2%				TIF<50			
COOLING AIR	2.69 m ³ /sec 5700 cfm				3.45 m ³ /sec 7300 cfm			
VOLTAGE STAR	380/220	400/231	415/240	440/254	416/240	440/254	460/266	480/277
kVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	1360	1400	1400	1375	1525	1625	1655	1690
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	3.50	3.26	3.02	2.64	4.25	4.04	3.77	3.53
X' _d DIR. AXIS TRANSIENT	0.21	0.20	0.18	0.16	0.26	0.25	0.23	0.22
X'' _d DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.16	0.15	0.14	0.12	0.19	0.18	0.17	0.16
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	2.26	2.10	1.95	1.70	2.74	2.61	2.43	2.28
X'' _q QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.32	0.29	0.27	0.24	0.38	0.37	0.34	0.32
X _l LEAKAGE REACTANCE	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.22	0.21	0.19	0.17	0.27	0.26	0.24	0.23
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
REACTANCES ARE SATURATED VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED								
T _d TRANSIENT TIME CONST.	0.13s							
T' _d SUB-TRANSTIME CONST.	0.01s							
T' _{do} O.C. FIELD TIME CONST.	2.14s							
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.02s							
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d							

ภาคผนวก ข.

การจำลองการทำงานของไมโครกริดในโปรแกรม DlgSILENT Powerfactory

การจำลองการทำงานของระบบในสถานะชั่วคราวแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. Short-Term or Electromagnetic Transients
2. Mid-Term or Electromechanical Transients
3. Long-Term Transients

ภายในโปรแกรม DlgSILENT Powerfactory ประกอบด้วยการจำลองการทำงานในสถานะชั่วคราวอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

1. RMS Simulation ใช้กับสถานะชั่วคราวระยะกลางและสถานะชั่วคราวระยะยาว ภายใต้ระบบสามเฟส สมดุลและไม่สมดุล เช่น การวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การวิเคราะห์พฤติกรรมหลังเกิดความผิดปกติในระบบ
2. EMT Simulation ใช้กับการวิเคราะห์ในระบบสามเฟสแบบสมดุลและไม่สมดุล ในสถานะชั่วคราวระยะสั้น

หมายเหตุ ในการจำลองการทำงานในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะใช้การจำลองการทำงานแบบ RMS Simulation เนื่องจากพิจารณาผลตอบแทนในช่วงระยะเวลาจำลองที่ จนถึง วินาที

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จรัณวิศ รอดหลัก
วัน เดือน ปี เกิด	8 ตุลาคม 2535
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศิริราช จังหวัด กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	38/26 ซอยมิตรไมตรี 2 ตำบล ศาลากลาง อำเภอบางกรวย จังหวัด นนทบุรี 11130
ผลงานตีพิมพ์	บทความเรื่อง "กรณีศึกษาการทำงานของไมโครกริดในโหมดแยกโดดของอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่พิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความผันผวนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์" ในงานประชุมวิชาการและนวัตกรรมของ PEA ปี 2562 (PEACON & INNOVATION 2019)
รางวัลที่ได้รับ	ทุนการศึกษาโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรุ่นที่ 3