



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการลาดเอียง
กำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทน

Analysis of Frequency Regulation in Microgrid System Considering Power Ramp Rate
of Renewable Energy

นามผู้วิจัย นายธนเดช ไพรธูณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ยศวีร์ วีระกำแหง, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์คมสันต์ หงษ์สมบัติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าของ
พลังงานทดแทน

Analysis of Frequency Regulation in Microgrid System Considering Power Ramp Rate of
Renewable Energy

โดย

นายธนเดช ไพรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2556

ธนเดช ไพรธรม 2556: การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณา
อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทน ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ยศวีร์ วีระกำแหง, Ph.D. 91 หน้า

ในปัจจุบันการขยายตัวของการนำเอาแหล่งพลังงานทดแทนมาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นมาก
ลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานทดแทนจะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว
ความแปรปรวนของระบบไฟฟ้าที่มาจากผลกระทบเหล่านี้ จะส่งผลกระทบกับคุณภาพและความ
น่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อที่จะรับประกันคุณภาพและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า
สัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในกริดจะต้องถูกควบคุมอย่าง
เหมาะสม ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถประเมินได้จากอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า (Power
Ramp Rate, PRR) โดยที่ค่าแรกของอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่ทำให้ความถี่ของระบบไม่
เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า จะเรียกว่า อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าวิกฤติ
(Critical Power Ramp Rate, CPRR) ในงานวิจัยได้นำเอาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้ามาพิจารณา
ออกแบบพลังงานที่ต้องการน้อยสุดจากระบบแบตเตอรี่ เพื่อให้ค่าเบี่ยงเบนความถี่ในไมโคร
กริดมีเสถียรภาพ จากผลการจำลองอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าเป็นดัชนีที่มีประโยชน์อย่างมาก
ในการประเมินพิกัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานของแบตเตอรี่เพื่อที่จะควบคุมความถี่ของระบบให้อยู่
ในเกณฑ์มาตรฐาน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Thanadech Priroon 2013: Analysis of Frequency Regulation in Microgrid System
Considering Power Ramp Rate of Renewable Energy. Master of Engineering (Electrical
Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering.
Thesis Advisor: Mr. Yossawee Weerakamaeng, Ph.D. 91 pages.

At present, the renewable energy resources have been increasingly brought into the generation of the electrical power system. Generally, the power generated from these resources mostly changes rapidly. The fluctuation of the electrical power from them may affect the quality and reliability of the electrical power system. In order to guarantee the quality and reliability of the power system, the proportion of electrical power generated by renewable energy resources into the power grid must be controlled appropriately. The suitable ratio of the renewable power generation can be evaluated from the Power Ramp Rate (PRR). The value of PRR that initiates the power system to become unstable is called the critical CPRR. In this paper, PRR is brought into consideration to design the minimal required energy for the battery system to stabilize the frequency deviation in microgrid system. The simulation results demonstrate that PPR is very useful index in determining the suitable size of power and energy of batter system so as to control the frequency of the system within the standard limit.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ศวีร์ วีระกำ
แหง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์คมสันต์ หงษ์สมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำ
วิทยานิพนธ์ ตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้การ
สนับสนุนทุกด้านและให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนเพื่อนและพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือใน
ด้านต่างๆ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้บรรลุผลสำเร็จ

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอความรู้และประสบการณ์ที่มีค่าในการศึกษาครั้งนี้ ไปใช้ให้เกิด
ประโยชน์สูงสุดต่อตัวเองและต่อสังคมต่อไป

ธนเดช ไพรธูณ
มกราคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
วิธีการ	47
ผลและวิจารณ์	59
ผล	59
วิจารณ์	73
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	80
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ที่มาและความจำเป็นของไมโครกริดในแต่ละประเทศ	24
2	ปัจจัยหลักซึ่งเป็นที่มาของไมโครกริด	25
3	สัดส่วนของแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนที่ติดตั้งในระบบไมโครกริด	59
4	ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของอัตราลาดเอียงขึ้น-ลง	63

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554	3
2	แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี	4
3	เป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564)	5
4	การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า	7
5	กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)	8
6	กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)	9
7	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	11
8	ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ (1) Single Crystalline Silicon Solar Cell ,(2) Poly crystalline Silicon Solar Cell, (3) Amorphous Silicon Solar Cell	12
9	ไดอะแกรมของการควบคุมความถี่ และการควบคุมแรงดัน	14
10	การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่มีวงจรป้อนกลับ 1 ลูป	16
11	การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง กรณีที่มีวงจรป้อนกลับ 2 ลูป	17
12	บล็อกไดอะแกรมของกังหันไอน้ำแบบสเตเดีย (Non-Reheat Turbine)	21
13	บล็อกไดอะแกรมของชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ที่ต่อเข้ากับชุดสปีดครูป	22
14	ระบบจัดการพลังงานในไมโครกริด (μ grid EMS)	26
15	แสดงความหมายเหตุการณ์อัตราการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลมมากกว่า 50% ของกำลังการผลิต	33
16	ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียก	36
17	ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่อย่างง่าย	38
18	พิกัดของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่มีการมีการใช้ในปัจจุบัน	38
19	ระบบควบคุมแบบมีการชดเชย	40
20	ตัวควบคุมแบบมีการชดเชย	40
21	การเพิ่มโพลและซีโรสำหรับการชดเชยแบบเฟสนำหน้า	42
22	บล็อกไดอะแกรมของตัวชดเชยแบบเฟสนำหน้า	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	การเพิ่มโพลและซีโรสำหรับการชดเชยแบบเฟสล้ำหลัง	43
24	บล็อกไดอะแกรมของตัวชดเชยแบบเฟสล้ำหลัง	43
25	ระบบไมโครกริด	49
26	แบบจำลองระบบไมโครกริด	50
27	แสดงกราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์	51
28	ความแปรปรวนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์	52
29	ความเร็วลมที่ถูกจำลอง (เฉลี่ย : 8 m/s)	54
30	การแจกแจงของความเร็วลมที่ถูกจำลอง	54
31	แสดงกราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม	55
32	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม	56
33	ความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้ในการจำลองในไมโครกริด	56
34	แบบจำลองระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่	57
35	ส่วนประกอบของตัวควบคุมการหน่วง	58
36	กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 90% และพลังงานลม 10%	60
37	กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 70% และพลังงานลม 30%	60
38	กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 50% และพลังงานลม 50%	61
39	กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 30% และพลังงานลม 70%	61
40	กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 10% และพลังงานลม 90%	62
41	อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ควบคุมความถี่ในช่วงเวลา 1 วัน	62
42	การเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบขั้นบันไดและพิจารณาอัตราการลาดเอียง	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบแบบไม่พิจารณาและพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า	64
44	การเปลี่ยนแปลงของโหลดเนื่องในสัดส่วนที่แตกต่างกัน	65
45	ความเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบในปริมาณสัดส่วนพลังงานทดแทนต่างๆ	66
46	ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบเมื่อไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่โดยไม่พิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า	68
47	กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกรณีที่ไม่มีพิจารณาอัตราการลาดเอียง	68
48	พลังงานที่ถูกคิซหาร์จากแบตเตอรี่ในกรณีที่ไม่มีพิจารณาอัตราการลาดเอียง	69
49	ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบเมื่อไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่โดยพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า	69
50	กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียง	70
51	พลังงานที่ถูกคิซหาร์จากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียง	70
52	กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีและไม่มีพิจารณาอัตราการลาดเอียง	71
53	พลังงานที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีและไม่มีพิจารณาอัตราการลาดเอียง	72

การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการลาดเอียง
กำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทน

Analysis of Frequency Regulation in Microgrid System Considering
Power Ramp Rate of Renewable Energy

คำนำ

หนึ่งในปัญหาหลักในการนำเอาแหล่งพลังงานทดแทนมาผลิตกำลังไฟฟ้าคือการจัดการกับเหตุการณ์อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เหตุการณ์เหล่านี้จะทำให้กำลังไฟฟ้ามีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและขนาดใหญ่ (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) ที่เกิดจากแหล่งพลังงานทดแทน ศูนย์ควบคุมระบบจะต้องหาวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าในระบบให้มีความสมดุลจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเหตุการณ์อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถทำนายได้ ในการทำนายเหตุการณ์อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะรับมือกับเหตุการณ์อัตราการลาดเอียง เช่น เหตุการณ์ที่มีอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าขึ้น ที่เกิดจากแหล่งพลังงานลมที่ถูกผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหัน สามารถที่จะตัดกำลังไฟฟ้าออกจากระบบ (cut-off) เพื่อหลีกเลี่ยงกำลังไฟฟ้ามากเกินไป หรือสามารถนำมาผลิตกำลังไฟฟ้าได้จนกระทั่งเพียงพอตามข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟ ในกรณีนี้ผู้ผลิตสามารถเปลี่ยนจากพลังงานฟอสซิลมาเป็นพลังงานทดแทนที่มีราคาถูกกว่าและเป็นพลังงานสะอาด ส่วนเหตุการณ์ที่มีอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าลง ผู้ดูแลระบบสามารถสลับมาใช้เป็นโรงจักรพลังงานน้ำที่มีความรวดเร็วในการผลิตหรือถ้าขั้นตอนนี้ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการ ผู้ควบคุมสามารถใช้โรงจักรพลังงานไอน้ำที่ใช้ฟอสซิลมาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า หากมาตรการเหล่านี้ไม่เพียงพอกับความต้องการกำลังไฟฟ้า อาจจะต้องมีการปลดโหลดออก(load shedding) ซึ่งในกรณีนี้ผู้ควบคุมระบบจะหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นในระบบ

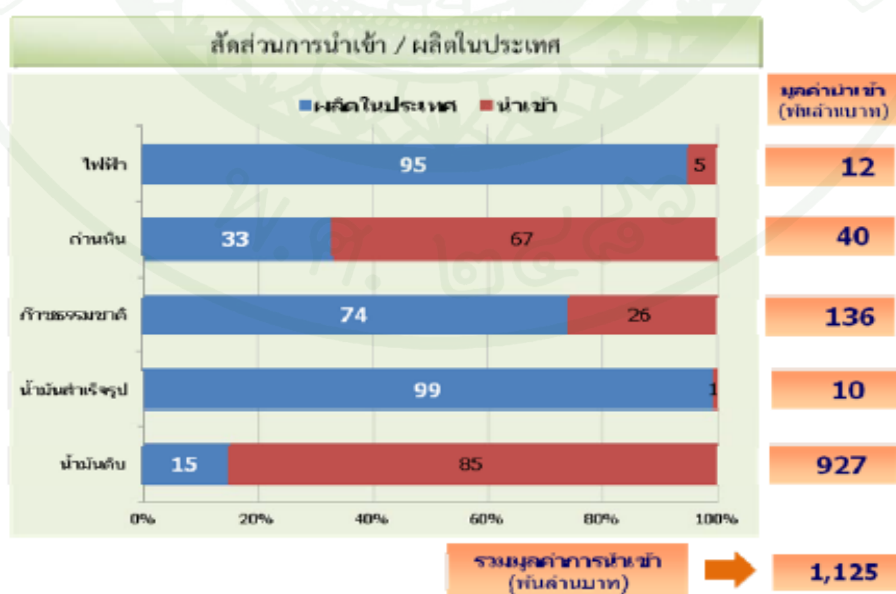
วัตถุประสงค์

1. สามารถนำอัตราการลดเสียงกำลังไฟฟ้า มาใช้ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสมจากแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลมและแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่ค่าเบี่ยงเบนความถี่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด
2. สามารถนำอัตราการลดเสียงกำลังไฟฟ้า มาวิเคราะห์พิกัดกำลังไฟฟ้าและพิกัดพลังงานเพื่อหาขนาดของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ ในกรณีที่อัตราการลดเสียงกำลังไฟฟ้าสูงเกินไปจนทำให้ค่าความเบี่ยงเบนความถี่ที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ให้กลับมาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้

การตรวจเอกสาร

1. แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)

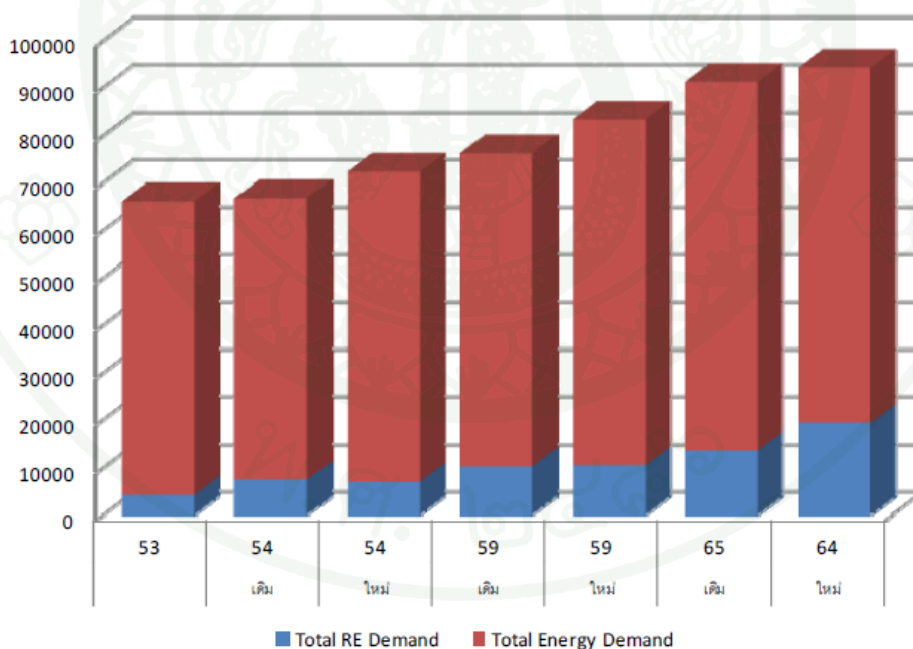
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554) ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากภาพที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554 พบว่ากว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทน ถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ้งกังหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ก็อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต



ภาพที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554

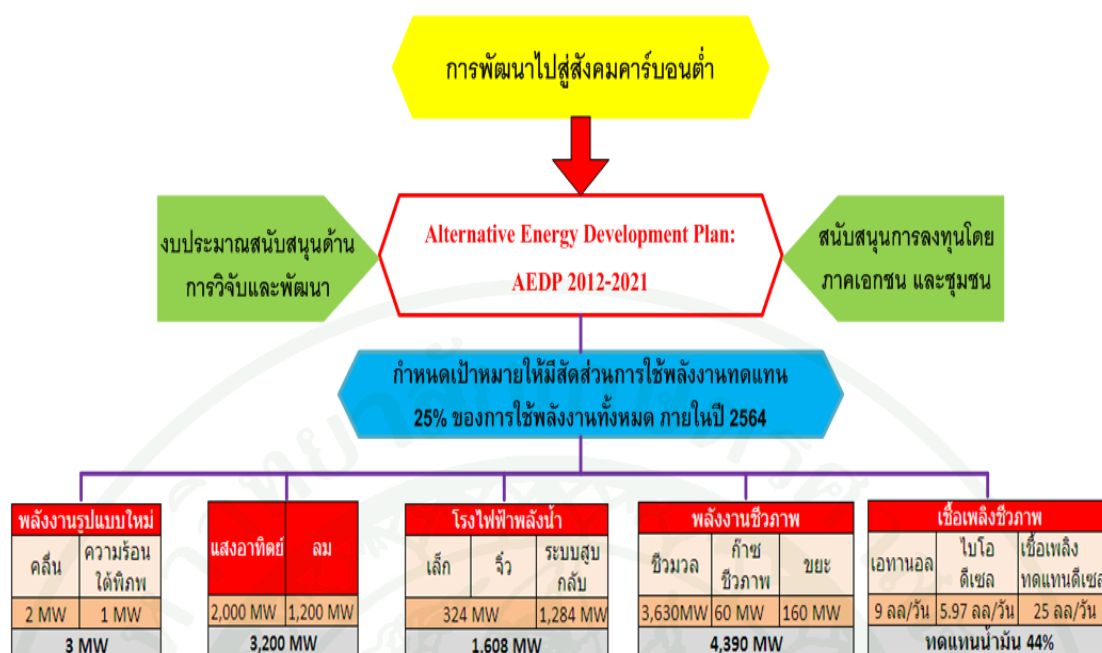
ปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจและเร่งหามาตรการเพื่อควบคุม โดยมาตรการกีดกันทางการค้าก็เป็นมาตรการหนึ่งที่มีแนวโน้มจะนำใช้อย่างแพร่หลายในอนาคต และถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่ถูกบังคับใช้ตามมาตรการดังกล่าวในปัจจุบัน แต่ก็ควรต้องดำเนินการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นให้ประเทศไทยเริ่มก้าวสู่เส้นทางของการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) และให้เป็นแบบอย่างของสังคมโลกที่กล่าวขวัญถึงถึงประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่มีความมุ่งมั่นให้มีการใช้พลังงานทดแทน

ดังนั้น รัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP (2012-2021) ดังภาพที่ 2 เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ



ภาพที่ 2 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554)



ภาพที่ 3 เป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

จากแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564) หรือ Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021 ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งมีการกำหนดเป้าหมายให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน ในปี 2564 ดังภาพที่ 3 ซึ่งจากเป้าหมายกำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี 2564 คือ 2,000 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 75.48 MW หรือเพิ่มขึ้น 96.2 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานลมในปี 2564 คือ 1,200 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 7.28 MW หรือเพิ่มขึ้น 99.4 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นจากเดิมสูงมาก ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาสัดส่วนของพลังงานทดแทนที่กำลังเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยพิจารณาสัดส่วนของติดตั้งกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานของประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

2. พลังงานลม

เอกกนก (2553) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม คือ เครื่องจักรกลที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ กังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัด ได้ 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 กังหันลมแกนตั้งเป็นกังหันลมที่มีแกนหมุน และใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ กังหันลมประเภทนี้จะให้กำลังลมเท่ากันไม่ว่าลมจะมาทิศทางใดแต่หมุนช้ากว่ากังหันลมแกนนอน คือ มีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมสูงสุดไม่เกินสองเท่าของความเร็วลม ใบรับลมจะเป็นวัสดุแผ่นบางๆ ที่แบนหรือโค้งก็ได้ เช่น กังหันลมแดร์เรียส (Darrius) หรือกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส และแบบที่ 2 คือ กังหันลมแกนนอนซึ่งเป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดกังหันลมเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม ใบรับลมจะเป็นวัสดุแผ่นบางๆ ที่แบนหรือโค้งก็ได้ เช่น กังหันลมพรอเพลเลอร์ (Propeller) หรือกังหันลมใบเลื่อยลำแพน เป็นต้น

จำนวนใบกังหันอาจมีตั้งแต่หนึ่งใบถึงหลายสิบใบ กังหันลมที่มีจำนวนใบมากส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง ในทางตรงข้ามกังหันที่มีจำนวนใบน้อยจะใช้กับงานที่ต้องการความเร็วรอบสูง แรงบิดต่ำ เช่น การผลิตไฟฟ้า ส่วนที่ 2 คือ ระบบควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภทคือ

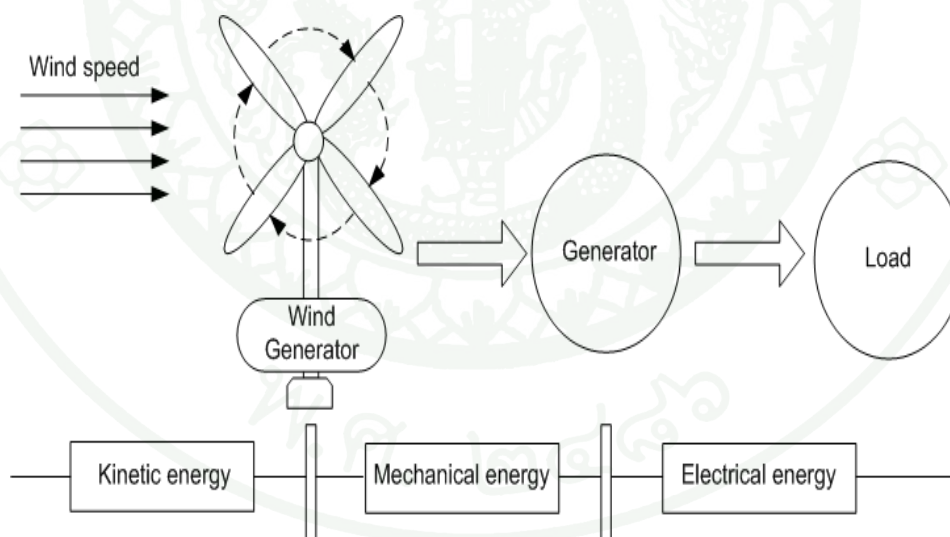
1. ควบคุมทิศทางของกังหันลม ทำหน้าที่ควบคุมกังหันลมให้หันหน้าเข้าหาทิศทางลมตลอดเวลาเมื่อความเร็วลมต่ำ หรือให้หันหน้าออกจากกระแสลมโดยการหันไปข้าง ๆ หรือหันเขยหน้าขึ้น หรือ ทำให้ใบกังหันหุบตัวเพื่อให้มี พื้นที่ของกังหันที่รับกระแสลมน้อยลงเมื่อความเร็วสูงเกินกำหนดซึ่งเรียกว่าการควบคุมการบิดของใบพัด (Pitch control)

2. ควบคุมความเร็วรอบของเพลลา เป็นระบบควบคุมที่จะมีการทดสอบให้สอดคล้องกันระหว่างความเร็วรอบของแกนกังหันลมกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากความเร็วลมสูงๆ จะมีแรงกระทำกับใบกังหันอย่างมาก ดังนั้นจึงออกแบบระบบควบคุมให้ทำงานที่ความเร็วสูงสุดที่กังหันจะรับได้ค่าหนึ่ง การควบคุมจะมีลักษณะการทำงานคือทำให้เกิดการหน่วงต่อการหมุนของกังหันลม ซึ่งอาจทำได้โดยการปิดมุมของใบกังหันให้เกิดการ

หมุนมากกว่าการจับ หรือเพิ่มขึ้นส่วนที่ทำให้เกิดแรงหมุนขึ้นอย่างสูง เมื่อความเร็วถึงจุดที่กำหนดไว้

พลังงานลมถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลของแกนหมุนกังหันลม มวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะเคลื่อนที่ช้าลง ในทางปฏิบัติแล้วพลังงานจากลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับกังหันลมได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริง จะหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันทั้งหมด

จากพื้นฐานดังกล่าวสามารถอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ ดังนี้คือพลังงานลมซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ความเร็วค่าหนึ่ง (พลังงานจลน์) เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงาน ทางกลด้วยแรงบิดและความเร็วรอบของแกนหมุนกังหัน (Torque and speed conversion) พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลมจากนั้นจึงส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังโหลดตามภาพที่ 4

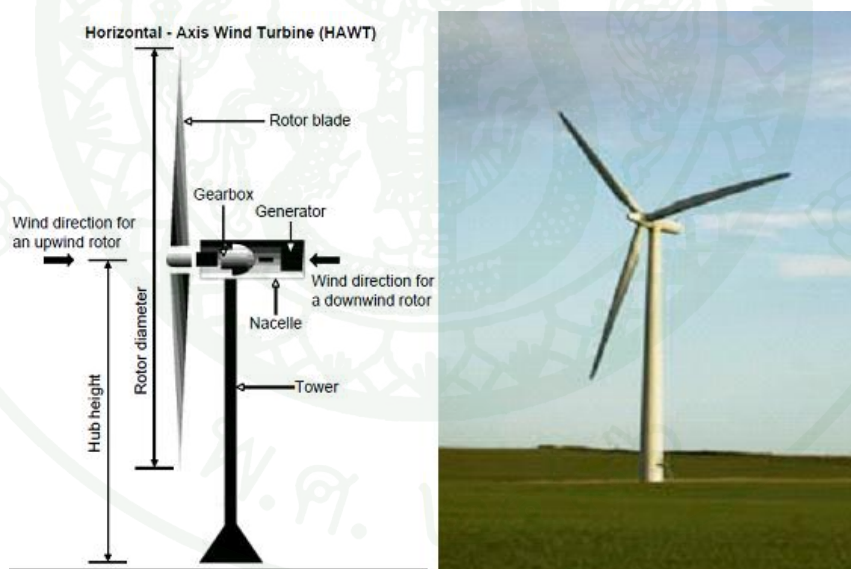


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

2.1 ชนิดของกังหันลม

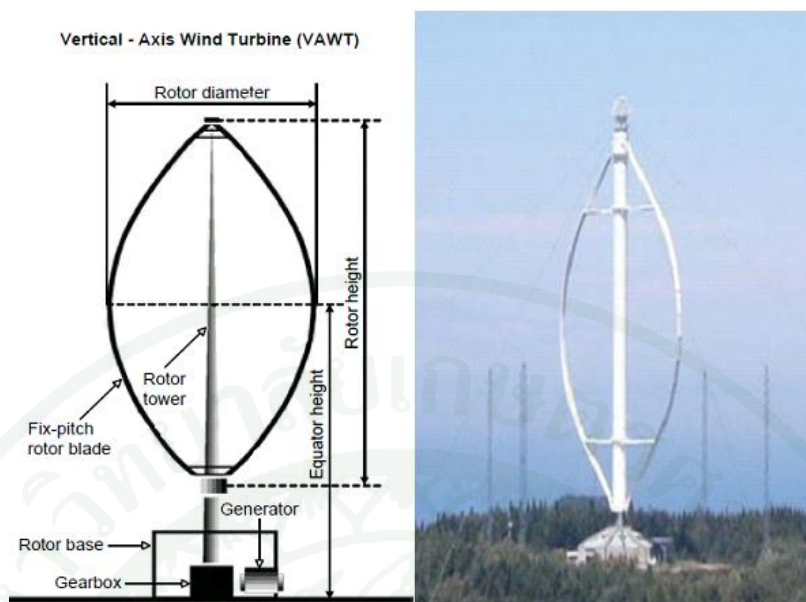
ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจ โดยเฉพาะในทวีปยุโรป เช่น ประเทศเดนมาร์ก กังหันลมที่ได้มีการพัฒนากันขึ้นมานั้นจะมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่ถ้าจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันจะได้ 2 แบบ คือ

2.1.1 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบสี่เหลี่ยม นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกังหันจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอบเพลเตอร์ (Propeller) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

2.1.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

2.2 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า นั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหันพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะ ทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไปโดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

2.3 กังหันลมกับการใช้งาน

เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานที่สม่ำเสมอเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว จะต้องมีการเก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรอง หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น

ตัวเก็บพลังงานมีอยู่หลายชนิด ส่วนมากขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ เช่น ถ้าเป็นกังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บพลังงาน

การใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เป็นตัวหมุน ระบบนี้ปกติกักเก็บพลังงานจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้ตลอดเวลาที่มีความเร็วลมเพียงพอ หากความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ แหล่งพลังงานชนิดอื่นจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานทดแทน (ระบบนี้กักเก็บพลังงานเป็นตัวหลักและแหล่งพลังงานส่วนอื่นเป็นแหล่งสำรอง)

การใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น อาจเป็นเครื่องจักรดีเซล หรือพลังงานน้ำจากเขื่อน ฯลฯ ระบบนี้ปกติจะมีแหล่งพลังงานชนิดอื่นจ่ายพลังงานอยู่ก่อนแล้ว กังหันลมจะช่วยจ่ายพลังงานเมื่อมีความเร็วลมเพียงพอ ซึ่งในขณะเดียวกันก็จะลดการจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น เช่น ลดการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ดีเซล (ระบบนี้แหล่งพลังงานอื่นจ่ายพลังงานเป็นหลักส่วนกังหันลมทำหน้าที่คอยเสริมพลังงานจากต้นพลังงานหลัก)

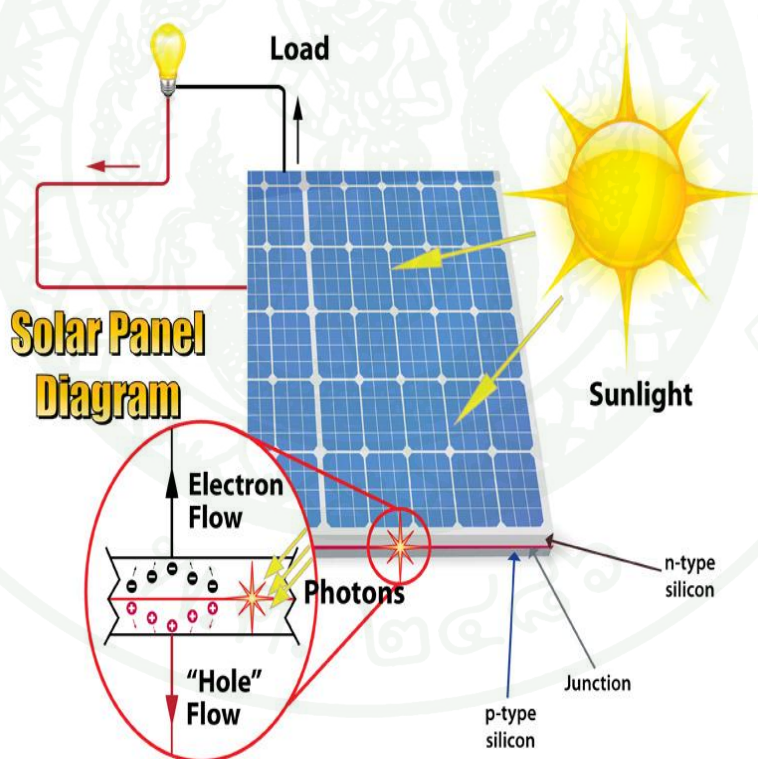
3. พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับกันว่า สะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ ก็สามารถใช้งานได้ทันทีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้นเมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ครั้งแรก ก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนของการแผ่เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ เช่นซิลิคอน (Silicon) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) เป็นต้น (Boyle, 1998) ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic effect) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่ปริมาณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่มีพลังงานมาตกกระทบ และเมื่อนำภาระทางไฟฟ้ามาต่อให้ครบวงจร อิเล็กตรอนอิสระบริเวณรอยต่อจะเกิดการเคลื่อนที่เป็นกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรได้

3.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์คือ รอยต่อที่เอ็น (P-N junction) ของสารกึ่งตัวนำ และวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและพบมากที่สุดบนโลกได้แก่ ซิลิคอน (ซิลิกอน, 2542) ซึ่งถลุงได้จากแร่ควอตไซต์หรือทราย และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบและประจุบวกขึ้น คือ อิเล็กตรอนและโฮล โดยอิเล็กตรอนและโฮลจะถูกรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างรอยต่อ p-n จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบทางด้านสารกึ่งตัวนำ n และแยกโฮลให้ไหลไปที่ขั้วบวกทางด้านสารกึ่งตัวนำ p ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้ง 2 เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโหลดก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรดังภาพที่ 7

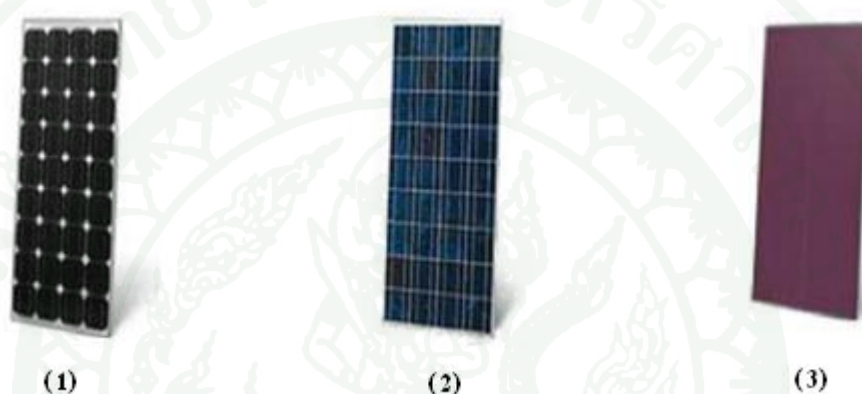


ภาพที่ 7 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Green energy Green home Incorporated (2011)

3.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้มีความหลากหลายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและการลดต้นทุนให้ต่ำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้มากคือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตด้วยซิลิคอนซึ่งมีราคาถูก โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีวัสดุซิลิคอนเป็นส่วนประกอบแบ่งได้ 3 ประเภทดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ (1) Single Crystalline Silicon Solar Cell, (2) Polycrystalline Silicon Solar Cell, (3) Amorphous Silicon Solar Cell

ที่มา: คู่มือ (2542)

3.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon: sc-Si)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si มีการใช้งานกันมากและแพร่หลายเพราะมีจุดเด่นคือ มีน้ำหนักเบา ประสิทธิภาพดีกว่าชนิดผลึกโพลีซิลิคอนและชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 15-18% (German Solar Energy Society, 2008) อายุการใช้งานยาวนานมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการผลิตไฟฟ้าน้อยมากจึงสามารถนำไปใช้งานในสถานที่ใดก็ได้ เช่น ดาวเทียมหรืออาคาร มีข้อเสียคือราคาสูงเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น มีโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมที่เป็นระเบียบ

3.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon: poly c-Si)

จุดประสงค์ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si นี้มีความสำคัญคือ เพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากต้นทุนการผลิต poly c-Si มีแนวโน้มถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si จึงกำลังได้รับความสนใจในฐานะที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกชนิดหนึ่ง โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 13-15% (Yates, 2003) การเรียงตัวของโครงสร้างอะตอมเป็นแถบ ซึ่งภายในแต่ละแถบจะมีการเรียงตัวของอะตอมที่เป็นระเบียบ

3.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Thin film Amorphous Silicon: thin film a-Si)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง มีราคาถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นแต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์ชนิดอื่นด้วยเช่นกัน มีโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมที่ไม่เป็นระเบียบ โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 5-7% (Yates, 2003)

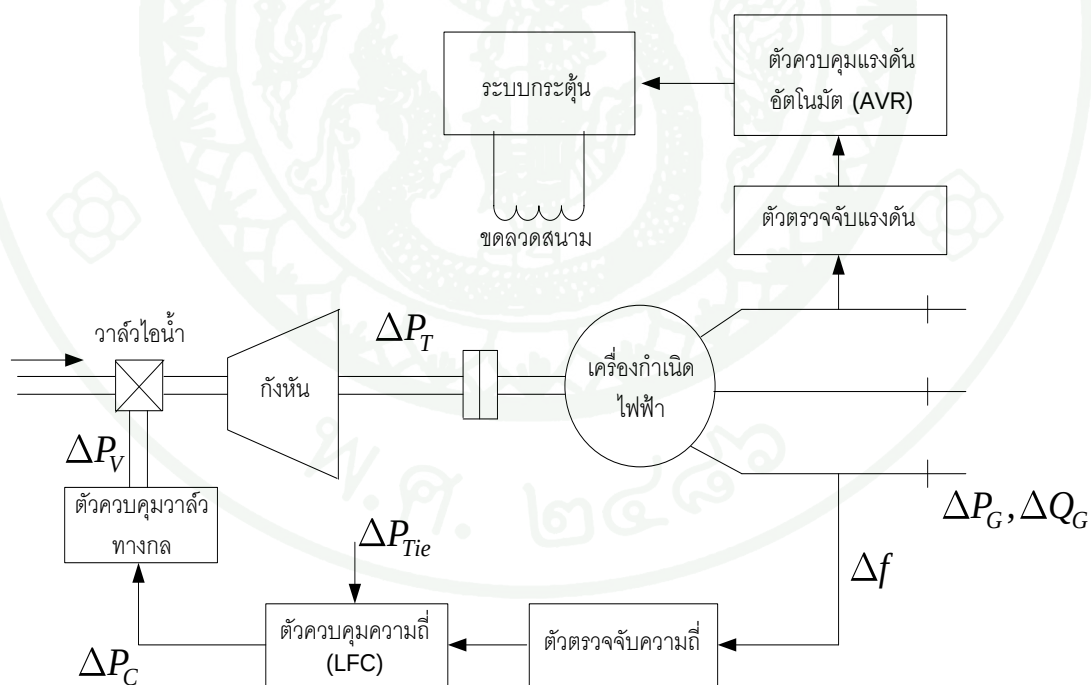
4. การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

Louis (1993) การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังคือการควบคุมค่าการไหลของกำลังงานไฟฟ้า ขนาดแรงดันไฟฟ้า และความถี่ของระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยที่การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังนั้นสามารถทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (Generation System) และการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า (Transmission System) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกสนใจควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันซึ่งมีผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) อีกส่วนหนึ่งสนใจการเปลี่ยนแปลงความถี่ระบบไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าซึ่งมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) ในขณะที่กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีผลน้อยต่อค่าความถี่ของระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลให้มีการควบคุมแบบแยกส่วนกันระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟโดยการควบคุมความถี่ระบบไฟฟ้าทำได้จากการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่วนการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าทำได้จากการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ การควบคุมความถี่มีความสำคัญมากในการนำเอาแหล่งพลังงานทดแทนมากผลิตกำลังไฟฟ้า ซึ่งการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานทดแทนนั้นต้องมีค่าความถี่ของระบบไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐาน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเน้นเรื่องการควบคุมความถี่ระบบไฟฟ้าสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

4.1 พื้นฐานการควบคุมระบบผลิตไฟฟ้า

Rerkpreedapong (2003) การควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมแรงดันที่ขั้วและการควบคุมความถี่ โดยพิจารณาการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสดังภาพที่ 9 ประกอบด้วยชุดการควบคุม 2 ชุด ชุดหนึ่งเป็นการปรับแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) โดยพิจารณากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เช่น การกระตุ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการป้อนไฟกระแสตรงผ่านขดลวดฟิลด์ แล้วทำให้เกิดขั้วสนามแม่เหล็กที่ทองที่มีผลให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำไปควบคุมแรงดันที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าคงที่และอีกชุดหนึ่งเป็นการปรับความถี่และกำลังผลิตอัตโนมัติ (Load Frequency Control, LFC) โดยพิจารณากำลังไฟฟ้าจริงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ไคอะแกรมของการควบคุมความถี่ และการควบคุมแรงดัน

4.1.1 หลักการทำงานของชุดปรับแรงดันอัตโนมัติ เป็นการควบคุมแรงดันที่ชั่วประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1) ตัววัดแรงดัน (Voltage Sensor) ทำหน้าที่วัดแรงดันที่ชั่วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วนำมาผ่านตัวลดแรงดันเพื่อลดแรงดันให้มีค่าต่ำเพื่อส่งสัญญาณไปให้ชุดแปลงแรงดัน (Rectifier)

2) ชุดแปลงแรงดันทำหน้าที่แปลงแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง เพื่อส่งสัญญาณไปให้ชุดเปรียบเทียบ (Comparator)

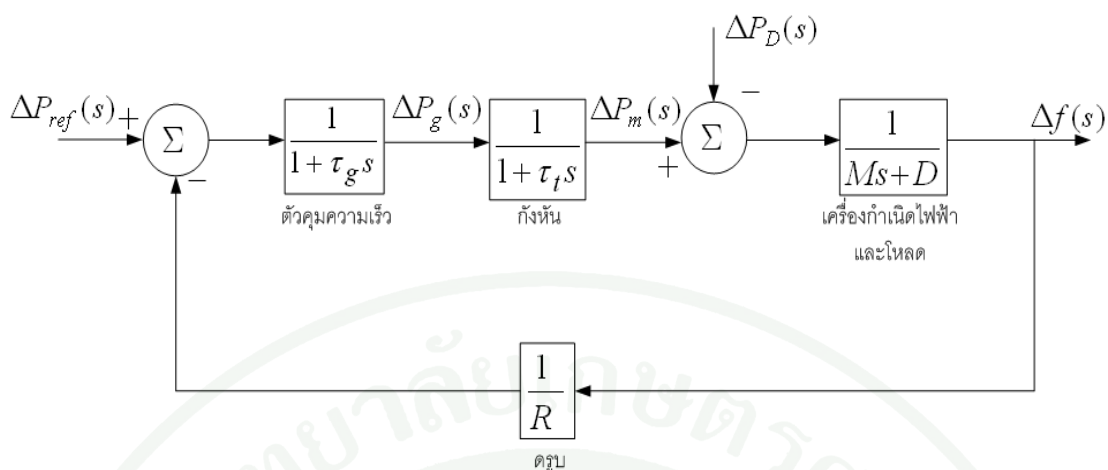
3) ชุดเปรียบเทียบทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันที่ชั่วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแรงดันที่กำหนดโดยส่งสัญญาณเป็นค่าความแตกต่างของแรงดันให้กับชุดขยายสัญญาณ (Amplifier)

4) ชุดขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณความแตกต่างของแรงดันแล้วส่งไปควบคุมชุดกระตุ้นไฟฟ้า (Exciter)

5) ชุดกระตุ้นไฟฟ้าทำหน้าที่จ่ายไฟกระแสตรงให้กับขดลวดฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.2 หลักการทำงานของชุดปรับความถี่และกำลังผลิตอัตโนมัติ

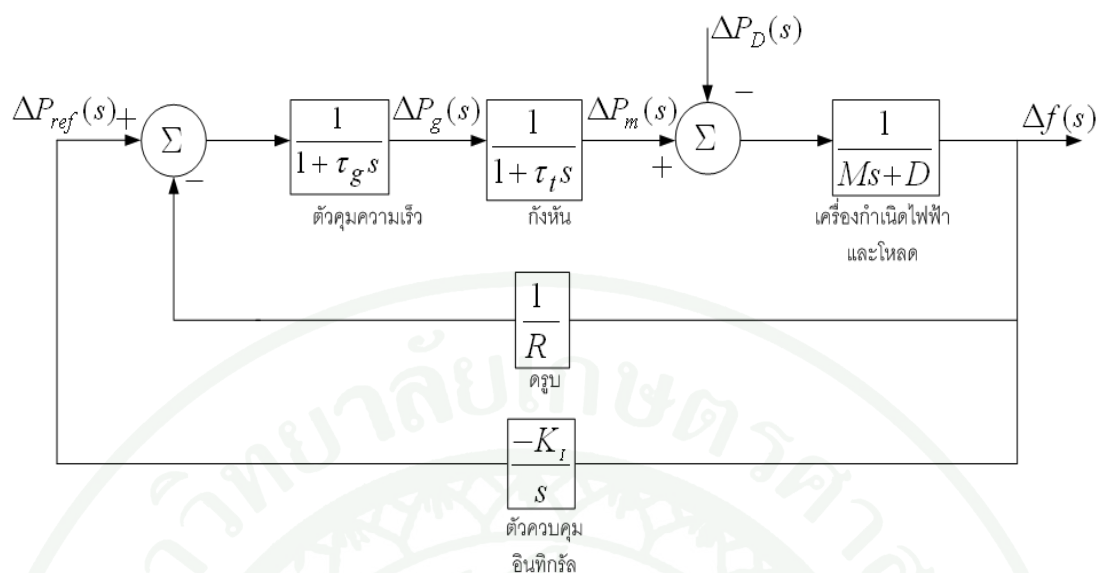
ชุดควบคุมประกอบด้วยวงจรป้อนกลับ 2 ลูป (Loop) คือ ลูปแรก (Primary Loop) และลูปสอง (Secondary Loop) ลูปแรกใช้ในการตอบสนองความถี่ โดยปรับกำลังผลิตผ่านชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ (Speed Governor) และชุดควบคุมวาล์วเปิดปิดไอน้ำเพื่อให้กำลังงานเอาต์พุตแปรผันตามภาระทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ส่วนลูปสองทำหน้าที่ควบคุมความถี่ที่ชั่วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียงความถี่ของระบบโดยความเร็วการตอบสนองนั้นลูปแรกเร็วกว่าลูปสอง



ภาพที่ 10 การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่มีวงจรป้อนกลับ 1 ลูป

ลูปแรกประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ตัววัดความเร็ว (Speed Sensor) ทำหน้าที่วัดความเร็วรอบของโรเตอร์เพื่อส่งสัญญาณไปให้ชุดเปรียบเทียบ
- 2) ชุดเปรียบเทียบทำหน้าที่เปรียบเทียบความถี่ที่วัดได้กับความถี่ที่กำหนด โดยส่งสัญญาณเป็นค่าความแตกต่างของความถี่ให้ชุดอินทิเกรเตอร์ (Integrator)
- 3) ชุดอินทิเกรเตอร์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความแตกต่างของความถี่ให้เป็นระยะขจัด (Displacement) แล้วส่งสัญญาณต่อไปให้ชุดเปลี่ยนความเร็ว (Speed Changer)
- 4) ชุดเปลี่ยนความเร็ว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้จากชุดอินทิเกรเตอร์ให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าแล้วส่งไปให้ชุดสปีดโกเวอร์เนอร์
- 5) ชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากชุดเปลี่ยนความเร็วแล้วส่งไปควบคุมการเปิดปิดวาล์วควบคุมไอน้ำสำหรับขับเคลื่อน



ภาพที่ 11 การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่มีวงจรป้อนกลับ 2 ลูป

ลูปสองประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ตัววัดความถี่ ทำหน้าที่วัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อส่งสัญญาณไปให้ชุดเปรียบเทียบ
- 2) ชุดเปรียบเทียบ ทำหน้าที่เปรียบเทียบความถี่ที่วัดได้กับความถี่ที่กำหนดโดยส่งสัญญาณเป็นค่าของความถี่แตกต่างให้ชุดอินทิเกรเตอร์
- 3) ชุดอินทิเกรเตอร์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแตกต่างของความถี่ให้เป็นระยะขจัดแล้วส่งสัญญาณต่อไปให้ชุดเปลี่ยนความเร็ว
- 4) ชุดเปลี่ยนความเร็ว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้จากชุดอินทิเกรเตอร์ให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าแล้วส่งไปให้ชุดสปีดโกเวอร์เนอร์
- 5) ชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากสปีดดรอป (Speed Droop) และชุดเปลี่ยนความเร็ว มาเปรียบเทียบกันแล้วส่งผลไปยังตัวขยายสัญญาณไฮดรอลิก (Hydraulic Amplifier)

6) ตัวขยายสัญญาณไฮดรอลิก ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากชุดสปีดโกเวอร์เนอร์แล้วส่งไปควบคุมการเปิดปิดวาล์วควบคุมไอน้ำสำหรับขับเคลื่อน

4.2 การควบคุมความถี่

จุดประสงค์ของการควบคุมความถี่เพื่อรักษาความถี่ และค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งไปในพื้นที่อื่นให้อยู่ในระดับที่กำหนดค่าไว้ การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ และการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าสามารถวัดได้จากเครื่องวัดที่ติดตั้งบริเวณขอบเขตของพื้นที่ควบคุม จากนั้นค่าสัญญาณผิดพลาด เช่น การเปลี่ยนแปลงของความถี่ และค่าการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าถูกนำมาทำกระบวนการขยายสัญญาณ การรวมกันของสัญญาณแล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องดันกำลัง (Prime Mover) เพื่อควบคุมการเพิ่มหรือลดกำลังผลิตไฟฟ้าต่อไป

เครื่องดันกำลังเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังงานกลที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการที่จะเพิ่มหรือลดกำลังผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของความถี่

ขั้นตอนของการออกแบบระบบควบคุม คือ ต้องทราบฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) ก่อน ต่อมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

5. แบบจำลองระบบไฟฟ้า

5.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Allen and Bruce (1996) พิจารณาจากสมการการแกว่ง (Swing Equation) ของเครื่องจักรแบบซิงโครนัส

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (1)$$

$$\Delta P_m = \omega T_m \quad (2)$$

$$H = \frac{1J\omega_0^2}{2S_B} \quad (3)$$

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_m - T_e = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

$$\theta = \omega t + \delta; \frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (5)$$

$$\frac{\omega_0}{S_B}; \frac{\omega_0}{S_B} J \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_0}{S_B} T_m - \frac{\omega_0}{S_B} T_e \quad (6)$$

$$\frac{2\omega_0}{2\omega_0}; \frac{2\omega_0}{2\omega_0} \left(\frac{\omega_0}{S_B} J \frac{d\omega}{dt} \right) = P_{mP.U.} - P_{eP.U.} \quad (7)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d\omega}{dt} = P_{mP.U.} - P_{eP.U.} \quad (8)$$

$$\frac{2H}{2\pi f_s} \cdot 2\pi \cdot \frac{df}{dt} = P_{mP.U.} - P_{eP.U.} \quad (9)$$

$$\frac{2H}{f_s} \cdot \frac{df}{dt} = P_{mP.U.} - P_{eP.U.} \quad (10)$$

$$T_P = \frac{2H}{f_s} \quad (11)$$

$$T_P \frac{d\Delta f}{dt} = \Delta P_{mP.U.} - \Delta P_{eP.U.} \quad (12)$$

$$T_P S \Delta f = \Delta P_m - \Delta P_e \quad (13)$$

$$\Delta f = \frac{1}{T_P S} \Delta P_m - \Delta P_e \quad (14)$$

$$\Delta P_e = \Delta P_D + D\Delta f \quad (15)$$

$$\Delta P_D = \Delta P_e - D\Delta f \quad (16)$$

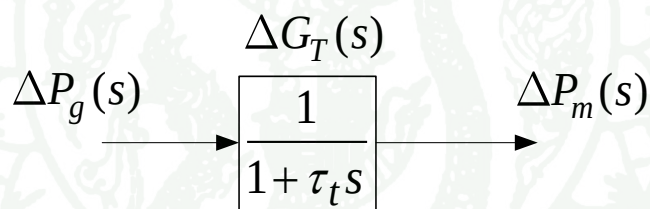
J	คือ	ค่าจุดหมุนความเฉื่อย (Moment of inertia)
θ	คือ	มุมเฟส(Phase Shift)
T_e	คือ	ค่าทอร์กทางไฟฟ้า (Electrical Torque)
T_m	คือ	ค่าทอร์กทางกล (Mechanical Torque)
T_H	คือ	ค่าคงที่ของชุดสปีดโกเวอร์เนอร์
T_P	คือ	ค่าคงที่ของความเฉื่อย
T_T	คือ	ค่าคงที่หน่วงเวลาของกังหันมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5 วินาที
ΔP_m	คือ	ค่าการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานอินพุตทางกล
ΔP_e	คือ	ค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังงานอินพุตทางไฟฟ้า
ΔP_D	คือ	ค่าการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้า
ΔP_C	คือ	ค่าการเปลี่ยนแปลงของชุดสปีดโกเวอร์เนอร์
Δf	คือ	ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Sensitive Load Change)
H	คือ	ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant)
S_B	คือ	ค่ากำลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน
f_s	คือ	ค่าความถี่ขณะนั้น
f_0	คือ	ค่าความถี่พิกัด
ω_s	คือ	ค่าความเร็วเชิงมุมขณะนั้น หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที
ω_0	คือ	ค่าความเร็วเชิงมุมพิกัด หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที
R	คือ	ค่าอัตราส่วนระหว่างค่า % ของการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่และ% ของการเปลี่ยนแปลงกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติแล้วกำหนดไว้ 5%

5.2 แบบจำลองของกังหัน

เครื่องต้นกำลังที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของกังหัน มีได้หลากหลายชนิด ได้แก่ กังหันน้ำ เช่น จากน้ำตก, กังหันไอน้ำ เช่น การเผาไหม้ของถ่านหิน หรือก๊าซเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และกังหันก๊าซโดยแบบจำลองเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังงานกลเอาต์พุต ΔP_m หลังจากที่ได้มีการควบคุมโดยปรับวาล์ว ΔP_v ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันการถ่ายโอนได้ดังนี้

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_v} = \frac{1}{1 + T_T s} \quad (17)$$

โดยที่ค่าคงที่หน่วงเวลาที่ใช้ในแบบจำลองของกังหันมีค่าขึ้นกับชนิดของเครื่องต้นกำลัง ซึ่งกรณีนี้ค่าคงที่หน่วงเวลา T_T มีค่าอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5 วินาที



ภาพที่ 12 บล็อกไดอะแกรมของกังหันไอน้ำแบบสเตตเดียว (Non-Reheat Turbine)

5.3 แบบจำลองชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ (Speed Governor Model)

Allen and Bruce (1996) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อทำงานในสถานะไม่มีภาระทางไฟฟ้า ให้ค่ากำลังผลิตเอาต์พุตที่คงที่ ขณะที่เมื่อมีภาระทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทันทีทันใด ค่ากำลังผลิตเอาต์พุตมีค่าเปลี่ยนไป ดังนั้นเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานให้ได้กำลังผลิตตามความต้องการของภาระทางไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ จำเป็นต้องใช้ชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ในการควบคุมเครื่องต้นกำลังเพื่อจ่ายกำลังงานให้กับภาระทางไฟฟ้าอย่างเหมาะสม

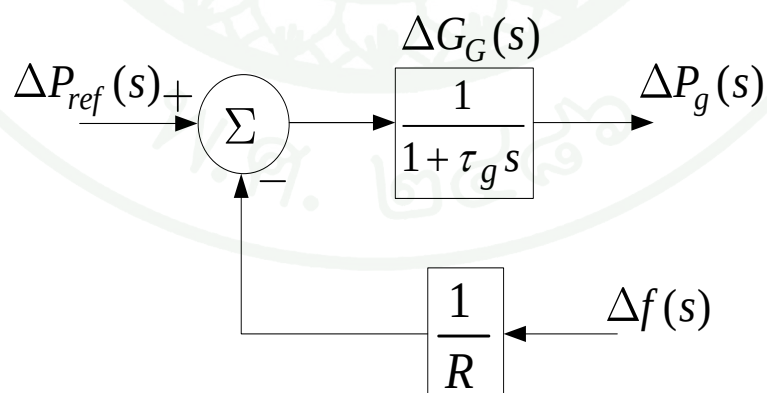
หลักการทํางานของชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ คือ มีตัววัดความเร็วเชิงมุมที่ได้จากเอาต์พุต แล้วส่งค่าไปเปรียบเทียบกับความเร็วเชิงมุมอ้างอิง ได้ค่าผิดพลาดของสัญญาณ จากนั้นขยายสัญญาณด้วยเกน (Gain, $K(S)$) แล้วอินทิเกรต (Integrate) ได้สัญญาณควบคุมแล้วในการควบคุมให้เปิดหรือปิดวาล์ว

กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทํางานที่ความเร็วเชิงมุมอ้างอิง และภาระทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าความเร็วเชิงมุมที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าความเร็วเชิงมุมอ้างอิง จะได้ค่าผิดพลาดของความเร็วเชิงมุมเป็นลบแล้วให้สัญญาณควบคุมวาล์วเป็นบวก นั้นหมายถึงมีการควบคุมให้เปิดวาล์ว เพื่อเพิ่มกำลังกลอินพุตให้กังหันจนกว่าได้ความเร็วเชิงมุมเท่ากับความเร็วเชิงมุมอ้างอิง ส่วนในทางตรงกันข้ามเมื่อภาระทางไฟฟ้าลดลงมีการควบคุมให้ปิดวาล์ว เพื่อลดกำลังงานทางกลอินพุตจนกระทั่งความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับความเร็วเชิงมุมอ้างอิง นั่นคือการควบคุมเพื่อให้ค่าผิดพลาดของความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับศูนย์

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการฟังก์ชันการถ่ายโอนได้ดังนี้

$$\Delta P_V = \frac{1}{1 + s\tau_H} \left(\Delta P_C - \frac{1}{R} \Delta f \right) \quad (18)$$

$$\Delta P_V \frac{1}{1 + s\tau_H} = \Delta P_C - \frac{1}{R} \Delta f \quad (19)$$



ภาพที่ 13 บล็อกไดอะแกรมของชุดสปีดโกเวอร์เนอร์ที่ต่อเข้ากับชุดสปีดครุพ

6. กริดขนาดเล็ก (Microgrid)

6.1 นิยามไมโครกริด

อิสระชัย (2554) ในปี 1999 ได้มีนำเสนอแนวคิดระบบไมโครกริดภายใต้ The Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, (CERTS) โดย Lawrence Berkeley National Laboratory ซึ่งเป็นศูนย์วิจัยหลักสังกัดกระทรวงพลังงาน (Department of Energy, DOE) ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกับ มหาวิทยาลัย บริษัทยผลิตไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า องค์กรต่างๆ CERTS ได้ นิยามไมโครกริดดังนี้

- ระบบโครงข่ายไฟฟ้ากำลังที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed generations) อุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้าและโหลด
- ระบบที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดภายในได้เมื่อแยกตัวออกจากระบบไฟฟ้ากำลังภายนอกและสามารถต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังหรือไมโครกริดอื่นๆ ได้
- ระบบที่สร้างขึ้นถูกออกแบบติดตั้งและควบคุมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า

6.2 ที่มาและความจำเป็นของไมโครกริดในแต่ละประเทศ

6.2.1 สหรัฐอเมริกา

เนื่องจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างทางฝั่งตะวันตกใน ปี 1996, ฝั่ง ตะวันออกเฉียงเหนือในปี 2003 เป็นต้น ทำให้ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบไฟฟ้ากำลัง และความมั่นคงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเป็นหัวข้อที่สำคัญที่ได้รับความสนใจสูง มาก นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ระบบส่งกำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างๆ ตลอดจนความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความต้องการไมโครกริดขึ้นมา

6.2.2 สหภาพยุโรป

เนื่องจากความใส่ใจของประชาคมยุโรปต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีการติดตั้งแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้ากำลังเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเกาะพื้นที่ห่างไกล เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยทำให้เกิดความต้องการระบบไมโครกริดขึ้น

6.2.3 ญี่ปุ่น

การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้ากำลังตลอดจนความต้องการในด้านการประหยัดพลังงานการลดก๊าซเรือนกระจกและการนำศักยภาพของทรัพยากรในแต่ละท้องถิ่นโดยเฉพาะแหล่งพลังงานมาใช้ประโยชน์ให้เต็มที่เป็นปัจจัยทำให้เกิดความต้องการไมโครกริดขึ้น

ตารางที่ 1 ที่มาและความจำเป็นของไมโครกริดในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ที่มาและความจำเป็น
สหรัฐอเมริกา	1. เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบให้สูงขึ้น 2. ลดการลงทุนของอุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง 3. ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า
สหภาพยุโรป	1. การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน 2. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเกาะพื้นที่ห่างไกลเป็นต้น
ญี่ปุ่น	1. การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน 2. การประหยัดพลังงานและลดก๊าซเรือนกระจก 3. การใช้ประโยชน์ศักยภาพของทรัพยากรด้านพลังงานของแต่ละท้องถิ่น

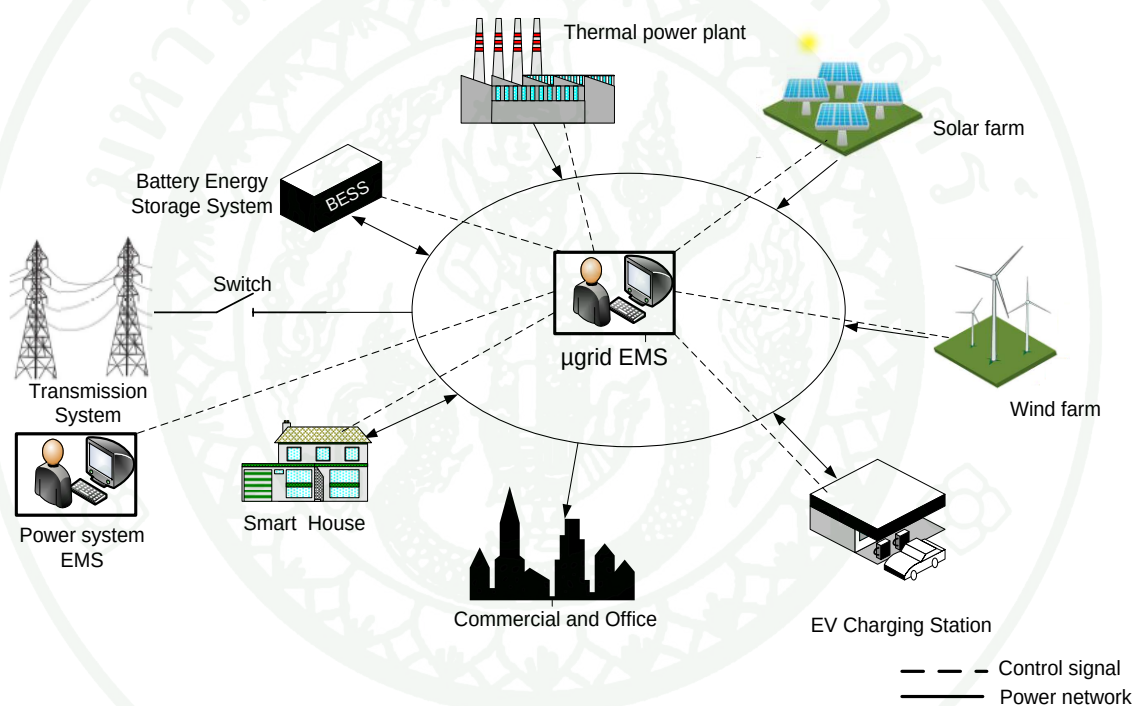
ตารางที่ 2 ปัจจัยหลักซึ่งเป็นที่มาของไมโครกริด

ปัจจัย	ที่มาและความจำเป็น
ค่าใช้จ่าย	1. ความเป็นไปได้ของการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพื่อเป็นมาตรการป้องกันการปรับราคาขึ้นลงของพลังงานที่คาดการณ์ไม่ได้
ความเชื่อถือได้และความมั่นคง	1. การเพิ่มคุณภาพกำลังไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2. การเพิ่มความมั่นคงของระบบด้วยการผลิตไฟฟ้าด้วยตัวระบบเองและการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระจาย
สิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	1. การส่งเสริมการติดตั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหมุนเวียนและการลดความไม่สม่ำเสมอของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าหมุนเวียน 2. การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3. การส่งเสริมการติดตั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าโคเจนเนอเรชันและโหลดที่มีประสิทธิภาพสูง
การมีส่วนร่วมกับระบบไฟฟ้ากำลัง	1. การเสนอ Ancillary service ให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง 2. การผลิตกำลังไฟฟ้าที่มีคุณภาพและราคาเป็นที่พอใจต่อความต้องการผู้ใช้ไฟฟ้า 3. การสร้างระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม 4. การลดค่าสูงสุดของความต้องการไฟฟ้าโหลดเป็นต้นส่งผลให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงจักรไฟฟ้าใหม่ 5. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงเช่น เกาะเป็นต้น
การใช้ประโยชน์ทรัพยากรในพื้นที่	1. การใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่ยังไม่นำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ 2. การทำให้เกิดธุรกิจใหม่ๆ ส่งผลให้เกิดความมั่นคงในท้องถิ่น

6.3 สมาร์ทไมโครกริด

แนวคิดของไมโครกริดดั้งเดิมนั้นจะพิจารณาการควบคุมรวมกันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบกระจายซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่าย (Distribution system) ภายนอกและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยเพื่อลดผลกระทบด้านลบอันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนให้น้อยที่สุด ตลอดจนเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายให้สูงขึ้นด้วยการผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดในไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายในเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า

กำลังภายนอก เมื่อพิจารณาไมโครกริดซึ่งมีการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานใหม่เข้ามาเป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องเตรียมโครงข่ายสื่อสารข้อมูลเพื่อเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากับระบบ จัดการพลังงานเฉพาะแห่ง (Local Energy Management System, Local EMS) ในไมโครกริดหรือระบบจัดการพลังงานในไมโครกริด (μ grid EMS) เพื่อทำหน้าที่มอนิเตอร์และควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบ นอกจากนี้ μ grid EMS ยังพิจารณาข้อมูล ระบบจำหน่ายและข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าร่วมกันเพื่อประกอบการตัดสินใจในการควบคุมและปฏิบัติการของระบบให้ดียิ่งขึ้นแนวคิด μ grid EMS นี้ทำให้ไมโครกริดแตกต่างจากแนวคิดไมโครกริดดั้งเดิม กล่าวคือเป็นระบบไมโครกริดที่มีความชาญฉลาดมากขึ้น หรือ สمارทไมโครกริดดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ระบบจัดการพลังงานในไมโครกริด (μ grid EMS)

μ grid EMS เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของไมโครกริด μ grid EMS คือ ระบบจัดการพลังงานที่ทำให้การส่งจ่าย กำลังไฟฟ้ามีความมั่นคงด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ μ grid EMS ยังเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจายซึ่งรวมไปถึงแหล่งพลังงานหมุนเวียน ตลอดจนระบบไฟฟ้ากำลังภายนอก μ grid EMS จึงเป็นเสมือนสมองของไมโครกริดที่ทำการควบคุมการผลิตไฟฟ้าและควบคุมจัดการโหลด ทำให้ระบบไมโครกริดมีความชาญฉลาดยิ่งขึ้น

6.3.1 หน้าที่หลักของระบบจัดการพลังงานในไมโครกริด (μ grid EMS)

1) การควบคุมความสมดุลของพลังงาน

- ดำเนินการควบคุมกำลังการผลิตไฟฟ้าและกำลังความต้องการของโหลดให้สมดุลแบบเรียลไทม์ (Real time) ด้วยการสื่อสารสองทิศทาง (Two ways communication) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายแต่ละเครื่อง เพื่อให้ได้คุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดและได้กำลังไฟฟ้าและความร้อนที่เหมาะสมที่สุด

- การมอนิเตอร์หรือเฝ้าตรวจการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆในระบบเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบว่าถูกต้องเป็นไปตามที่ตั้งไว้หรือไม่ เกิดสูงผิดปกติหรือไม่เพื่อนำข้อมูลตัวแปรต่างๆในระบบมาประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาหรือปฏิบัติการระบบต่อไป

- การควบคุมอุปกรณ์ต่างๆในระบบไมโครกริดผ่าน μ grid EMS เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกัน และ สวิตซ์ตัดต่อ เป็นต้น

- การลดผลกระทบของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ จากการมอนิเตอร์กำลังไฟฟ้าที่ไหลในไมโครกริด μ grid EMS สามารถส่งการให้อุปกรณ์ชุดเซชกำลังไฟฟ้าในระบบเช่น แบตเตอรี่และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตได้ เป็นต้น ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปชดเชยส่วนเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอได้ เพื่อรักษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นแรงดัน ความถี่ของไมโครกริดให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และส่งผลกระทบต่อบรรยากาศกำลังด้านนอกให้น้อยที่สุด

2) การควบคุมแบบประสานกับระบบไฟฟ้ากำลังที่เชื่อมต่อภายนอก

- นอกจากการควบคุมภายในไมโครกริด μ grid EMS ยังดำเนินการควบคุมแบบประสานกับระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อภายนอกเพื่อให้ เกิดการทำงานที่เหมาะสมที่สุดทั้งภายในและนอกไมโครกริด

- การทำงานแบบแยกโคดของไมโครกริดในกรณีที่ระบบไฟฟ้าภายนอกที่ไมโครกริดเชื่อมต่อเกิดส่งผิดปกติขึ้น μ grid EMS สามารถสั่งการให้ไมโครกริดปลดตัวเองออกจากระบบภายนอก แล้วจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดในไมโครกริดได้อย่างมั่นคงกล่าวคือเป็นฟังก์ชันการทำงานแยกโคดของไมโครกริด ในทางตรงกันข้ามเมื่อระบบภายนอกฟื้นคืนกลับมาเป็นปกติ μ grid EMS สามารถสั่งการให้ไมโครกริดเชื่อมต่อกับระบบภายนอกได้

3) Demand Response Function

โดยใช้การสื่อสารแบบสองทิศทาง μ grid EMS สามารถส่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เช่น ราคาไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ข้อมูลแนะนำเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในที่พักอาศัย เป็นต้น ให้ลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าในที่พักอาศัยผ่านโครงข่ายการสื่อสารและสมาร์ทมิเตอร์ (Smart meter) ไปแสดงผลในระบบจัดการพลังงานในที่พักอาศัย (Home Energy Management System, HEMS) ซึ่งติดตั้งในที่พักอาศัยของลูกค้า เพื่อโน้มน้าวให้ลูกค้าวางแผนการใช้ไฟฟ้าตลอดจนการประหยัดพลังงาน

6.4 ลักษณะเด่นของไมโครกริด

6.4.1 ไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กที่มีการติดตั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าใกล้กับตำแหน่งผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้นไมโครกริดจึงแยกโคดจากระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

6.4.2 สามารถแบ่งไมโครกริดออกเป็นสองประเภทคือ

1) ไมโครกริดแยกโคดซึ่งไม่มีการเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าภายนอกและทำการควบคุมระบบด้วยตัวเอง เช่น สภาพหมู่บ้าน พื้นที่ห่างไกลที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง ดิกลำปางงาน และโรงงานซึ่งผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง เป็นต้น

2) ไมโครกริดซึ่งมีการเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ภายนอกหนึ่งหรือสองจุด เช่น ในกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นในไมโครกริดทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายโหลดในไมโครกริดไม่เพียงพอ จึงสามารถให้ระบบภายนอกส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาช่วยเหลือได้ ในทางตรงกันข้าม

ขณะที่ระบบไมโครกริดต่อกับระบบไฟฟ้าภายนอกซึ่งเกิดความผิดปกติขึ้น ก็สามารถปลดการเชื่อมโยงของไมโครกริดจากระบบภายนอก แล้วสามารถจ่ายไฟเพื่อเลี้ยงระบบด้วยตนเอง

6.4.3 ใช้เทคโนโลยีสื่อสารข้อมูลสำหรับการควบคุม DG ที่ติดตั้งในไมโครกริดและโหลดต่างๆ เพื่อให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพสูง

6.4.4 สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบส่งและจำหน่ายได้ เนื่องจากไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้ากำลังแยกโดดซึ่งผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดในระบบเองได้ จึงไม่จำเป็นต้องมีระบบส่งจ่ายและจำหน่ายมากนัก

6.4.5 เนื่องจากไมโครกริดมีโครงข่ายส่งกำลังไฟฟ้าและความร้อน ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์พลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายและประหยัดพลังงานอีกด้วย

6.4.6 สามารถลดผลกระทบของกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งผลิตจากแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนจำพวกลมและแสงอาทิตย์ได้ด้วยการควบคุมร่วมกันกับ DG ที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกได้ เช่น แบตเตอรี่ เป็นต้น

6.4.7 การสร้าง ขยายต่อ หรือเพิ่มเติมไมโครกริดทำได้สะดวกตามความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

6.5 แนวทางการมีส่วนร่วมของหน่วยงานต่างๆ ในสมาร์ตไมโครกริด

สมาร์ตไมโครกริดทำให้เกิดโอกาสในการเข้ามามีส่วนร่วมของหน่วยงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นองค์การราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์กร บริษัทเอกชน หน่วยงานวิจัย และมหาวิทยาลัย เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงแนวทางการมีส่วนร่วมของหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

6.5.1 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทางไฟฟ้า

เนื่องจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทางไฟฟ้าชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบสำคัญของสมาร์ตกริด ผู้ผลิต จำหน่าย ผู้ออกแบบ ติดตั้ง หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ ฮาร์ดแวร์ไฟฟ้าจึงมีบทบาทมากในการเข้ามามีส่วนร่วมกับโครงการสมาร์ตไมโครกริด ฮาร์ดแวร์ในระดับระบบไฟฟ้ากำลัง ได้แก่ โรงจักรไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าย่อย แบตเตอรี่และระบบควบคุม เป็นต้น ในระดับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ EMS ระบบอัตโนมัติสำหรับระบบจำหน่าย สมาร์ทมิเตอร์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วย พลังแสงอาทิตย์/พลังลม เป็นต้น ในระดับผู้อยู่อาศัย ได้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าชาญฉลาด แหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลัง แสงอาทิตย์ หลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงาน LED และแบตเตอรี่สำหรับที่พักอาศัย เป็นต้น

6.5.2 หน่วยงาน IT และการสื่อสาร

วงการ IT และการสื่อสารก็มีบทบาทสำคัญในสมาร์ตไมโครกริด เนื่องจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ต่างๆ ในสมาร์ตไมโครกริด นั้นต้องใช้โครงข่าย ICT ยกตัวอย่างเช่น การแสดงปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้เห็นและเข้าใจอย่างรวดเร็ว การทำนายปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า และการทำให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุด เป็นต้น ดังนั้น ผู้กำหนดและวางแผนนโยบาย ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับสื่อสารข้อมูล ผู้ออกแบบติดตั้งระบบสื่อสารข้อมูล จึงมีบทบาทมากในการเข้า มามีส่วนรวมในเรื่องนี้ ยกตัวอย่างหน่วยงานที่มีบทบาทสูงในต่างประเทศคือ IBM และ Google เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำก็มีบทบาทสำคัญมากเนื่องจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำก็เป็นส่วนสำคัญของสมาร์ตไมโครกริดยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายและแบบใช้สายส่ง ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับสมาร์ทมิเตอร์ เซ็นเซอร์สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในที่พักอาศัย เพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์สวิตช์สำหรับอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า และแผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น

6.5.3 หน่วยงานการผลิต ส่งและจำหน่ายไฟฟ้า

เนื่องจาก การไฟฟ้าทำหน้าที่ผลิต ส่งและจำหน่ายไฟฟ้าให้แก่ลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นบริษัทไฟฟ้าจึงมีบทบาทและส่วนร่วมสำคัญมากในสมาร์ตไมโครกริด ยกตัวอย่างเช่น ด้วยการใช้ประโยชน์ EMS และ สมาร์ทมิเตอร์ การไฟฟ้าสามารถมองเห็นปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ จึง

สามารถวางแผนการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมได้ ความสะดวกในการที่ไม่ต้องส่ง พนักงานอ่านมิเตอร์ ไปตามที่พักอาศัย การไฟฟ้าสามารถอ่านค่าได้จากสมาร์ทมิเตอร์ได้อย่างรวดเร็วทำให้ประสิทธิภาพ การทำงานเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ การไฟฟ้าสามารถแนะนำลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม เพื่อประหยัดพลังงานอีกด้วย กล่าวอีกนัยหนึ่ง สมาร์ทไมโคร - กริดนอกจากจะเพิ่มศักยภาพในการทำงานของการไฟฟ้าแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อย่างสูง

6.5.4 หน่วยงานบริษัทส่งจ่ายก๊าซ

เช่นเดียวกันกับโครงข่ายกำลังไฟฟ้า การส่งจ่ายก๊าซเพื่อใช้สร้างโครงข่ายพลังงานความร้อนก็เป็นส่วนที่สำคัญในสมาร์ต ไมโครกริด ยกตัวอย่าง แหล่งผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม หรือโคเจนเนอเรชั่น จำเป็นต้องใช้แหล่งสร้างพลังงานความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อน การนำความร้อนไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น การทำน้ำร้อน เป็นต้น ดังนั้นบริษัทผลิตส่ง จ่ายก๊าซจึงมีบทบาทและส่วนร่วมสำคัญมากในการสร้างโครงข่ายพลังงานความร้อนในสมาร์ตไมโครกริด

6.5.5 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ ยานยนต์ไร้คนขับ

รถยนต์ ประเภท hybrid, electric vehicle, plugin electric vehicle เป็นองค์ประกอบสำคัญในสมาร์ตไมโครกริด รถยนต์เหล่านี้นอกจากจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้วยังช่วยประหยัดพลังงานได้อีกด้วย ดังนั้นบริษัทที่ผลิต นำเข้า จำหน่าย รถยนต์ เหล่านี้ รวมทั้งอุปกรณ์หลักและเสริมจึงมีบทบาทที่สำคัญในการเข้าร่วมกับสมาร์ตกริด ยกตัวอย่าง การพัฒนารถไฟฟ้าประเภทต่างๆ แบตเตอรี่ที่ติดตั้งในรถยนต์ และสถานีชาร์จไฟฟ้าให้รถไฟฟ้า เป็นต้น

6.5.6 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่พักอาศัย

เนื่องจากบ้านชาญฉลาด (Smart house) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสมาร์ตไมโครกริด วงการที่พักอาศัย บริษัท ออกแบบ ก่อสร้าง ที่พักอาศัย จึงมีบทบาทมากในสมาร์ตไมโครกริด แนวทางการมีส่วนร่วมคือ การนำเสนอบ้านพักอาศัยที่ช่วยลดพลังงานโดยการทำงานร่วมกับ HEMS และสมาร์ทมิเตอร์แล้วยังผลิตพลังงานสะอาดได้ เช่น การติดตั้ง แผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาบ้านเพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังแสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้ การเพิ่มสมรรถนะของบ้านโดย

ใช้เทคโนโลยี ICT และเซ็นเซอร์ เข้ามาเพื่อมอนิเตอร์ สุขภาพของผู้สูงอายุที่พักอาศัยอยู่ภายในบ้าน แล้วติดต่อไปยังภายนอกก็เป็นแนวทางที่กำลังได้รับความสนใจสูง

6.5.7 ศูนย์การค้า ร้านสะดวกซื้อ

เมื่อไม่นานมานี้ ศูนย์การค้า ร้านสะดวกซื้อก็เข้ามามีบทบาทในสมาร์ตไมโคร-กริดอย่างมาก กล่าวคือร้านค้าเหล่านี้ได้เข้ามามีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงาน เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่นการติดตั้งโซลาเซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้า การใช้ หลอด LED ประหยัดไฟฟ้า และการติดตั้งระบบทำความเย็นที่ช่วยประหยัดพลังงาน เป็นต้น นอกจากนี้การติดตั้งสถานการณ์ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถไฟฟ้าตามร้านสะดวกซื้อ หรือศูนย์ การค้า ก็เป็นแนวทางเข้าร่วมในสมาร์ตไมโครกริดได้อีกด้วย

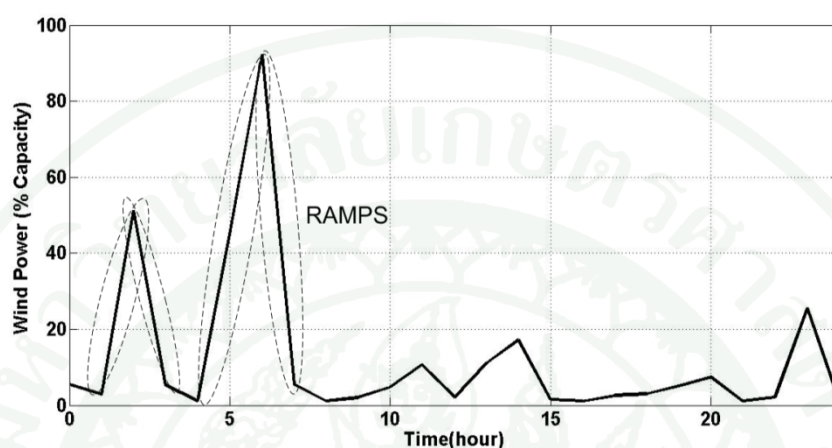
7. อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า (Power Ramp Rate)

7.1 คำนิยามของเหตุการณ์อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า

การหาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าเป็นการวิจัยที่ค่อนข้างใหม่ เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ทางอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า ตามรายงานการการลาดเอียงจะเกิดขึ้นเมื่อแอมพลิจูดของกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากในระยะเวลาสั้น เป็นแนวความคิดเดียวกันที่ปรากฏใน (Greaves et al., 2009; Cutler et al., 2007a) แสดงเป็น "แกว่ง (swing)" "เหตุการณ์รุนแรง (extreme events)" และ" การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (rapid changes)" มีความหมายเหมือนกันกับเหตุการณ์การลาดเอียง (Cutler et al., 2007b) เหตุการณ์เหล่านี้สามารถตรวจพบเฉพาะในระดับฟาร์มกังหันลมและฟาร์มโซลาร์เซลล์หรือในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอาจก่อให้เกิดปัญหาการบริหารจัดการในกริดที่รุนแรง (Bradford et al., 2010)

อัตราการลาดเอียงจะมีอยู่สองประเภทคือ อัตราการลาดเอียงขึ้นและอัตราการลาดเอียงลง ซึ่งถ้าคุณลักษณะเป็นแบบอัตราการลาดเอียงขึ้น แสดงว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานทดแทนมีกำลังการผลิตที่สูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปรากฏการณ์สภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง เช่น เกิดพายุฝนฟ้าคะนองลมกระโชกทำให้กำลังที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลมเกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าคุณลักษณะเป็นแบบอัตราการลาดเอียงลง แสดงว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก

แหล่งผลิตแทนมีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลง ซึ่งอาจจะเกิดจากสภาพอากาศบนท้องฟ้ามีเมฆมากจนทำให้แผงโซลาร์เซลล์รับแสงอาทิตย์ได้น้อย ส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์เกิดการลดลงอย่างทันทีทันใด เป็นต้น (Ferreira et al., 2010)



ภาพที่ 15 แสดงความหมายเหตุการณ์อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลมมากกว่า 50% ของกำลังการผลิต

7.2 การกำหนดอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า

ลักษณะเหตุการณ์อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า ซึ่งลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือลดลงอย่างรวดเร็ว ถูกกำหนดเป็นอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า (PPR) ในช่วงเวลาที่กำหนด สมการการหาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าแสดงได้ในสมการ (20) (Hwang, 2011)

$$PPR = \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} \quad (20)$$

เมื่อ	PPR	คือ	อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า (MW/s)
	$P(t + \Delta t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ต้องการที่เวลา $t + \Delta t$ (MW)
	$P(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ต้องการที่ เวลา t (MW)
	Δt	คือ	ช่วงเวลาที่กำหนด(s)

8. ระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System)

8.1 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่หมายถึงอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ใช้เก็บพลังงาน และนำมาใช้ได้ในรูปแบบของไฟฟ้า แบตเตอรี่นั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี เช่น เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์เชื้อเพลิง จากมุมมองของผู้ใช้แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้และแบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ไม่ได้ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายทั้งสองชนิด

แบตเตอรี่ใช้แล้วทิ้งเรียกอีกอย่างว่า เซลล์ปฐมภูมิใช้ได้ครั้งเดียว เนื่องจากไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมี เมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมดไฟฟ้าก็จะหมดจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกใช้ไฟน้อยหรือในที่ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ในทางตรงกันข้ามแบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้ซึ่ง เรียกว่าเซลล์ทุติยภูมิสามารถอัดกระแสไฟใหม่ได้หลังจากไฟหมด เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดกระแสไฟเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้อัดไฟนี้เรียกว่าชาร์เจอร์หรือรีชาร์เจอร์

แบตเตอรี่ทุกชนิดจะมีระยะการใช้งานเป็น cycle life ซึ่งเป็นจำนวนรอบตลอดการทำงาน of แบตเตอรี่ และระยะการใช้งานนี้จะมีจำนวนแตกต่างกัน ไปตามชนิดของแบตเตอรี่ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

8.1.1 ความลึกของการคายประจุ

ความลึกของการคายประจุ (Depth of discharge) เป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุของแบตเตอรี่ ที่ จะใช้ก่อนที่จะชาร์จ แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มที่ แบตเตอรี่ที่มี ักรณัถึง ระดับความลึกที่ลดลงของการคายประจุ (30% ของความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้ถึง 50%) จะช่วยให้ระยะการใช้งานมากขึ้นถ้าพลังงานต่อระยะการใช้งานที่มีการคำนวณแล้ว คุณด้วยระยะเวลาการใช้งาน, ผลของการคายประจุในกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกคายประจุจนหมดอายุการใช้งานการ ถ้าแบตเตอรี่ถูกคายประจุหมดแต่แล้วไม่ได้รับการชาร์จอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะถูกคายประจุออกมาอีกครั้ง การกระทำนี้จะมีผลไม่ดีในระยะการใช้งานทั้งหมดแบตเตอรี่ควรได้รับการชาร์จ อย่างเต็มที่ จะแยกถ้าหากมีการ

คายประจุบางส่วน เช่น คายประจุแบตเตอรี่ลงไป 60% แล้วชาร์จไฟกลับไป 90% แล้ว ปล่อยอีกครั้ง เป็นการกระทำที่ไม่ดีมาก สำหรับแบตเตอรี่ที่ดีกว่าการปฏิบัติ ถึง 70% แล้วชาร์จไฟกลับไป 100% แล้วปล่อยอีกครั้ง

8.1.2 อุณหภูมิในการทำงาน

อุณหภูมิในการทำงานมีผลกระทบต่อระยะเวลาการใช้งานนอกจากนี้ยังมี ผลกระทบต่อความจุของแบตเตอรี่มากที่สุด แนะนำให้ใช้อุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่จาก 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส จากกราฟอุณหภูมิจะมีผลให้ความจุที่เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาการใช้งานจะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C จะลดอายุการใช้งานครึ่งหนึ่งอายุขัยของแบตเตอรี่ จึงสรุปได้ว่าเมื่อขณะใช้งาน อุณหภูมิสูงจะทำให้ระยะเวลาการทำงานของแบตเตอรี่ลดลง เมื่อขณะใช้งานอุณหภูมิต่ำจะทำให้ระยะเวลาการทำงานของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น (อุณหภูมิขณะใช้งาน อุณหภูมิแตกต่างกัน 70 °F จะทำให้ผลกระทบอื่นๆ อุณหภูมิที่ดีที่สุดคือการใช้งาน ระหว่างประมาณ 50 °F และ 90 °F)

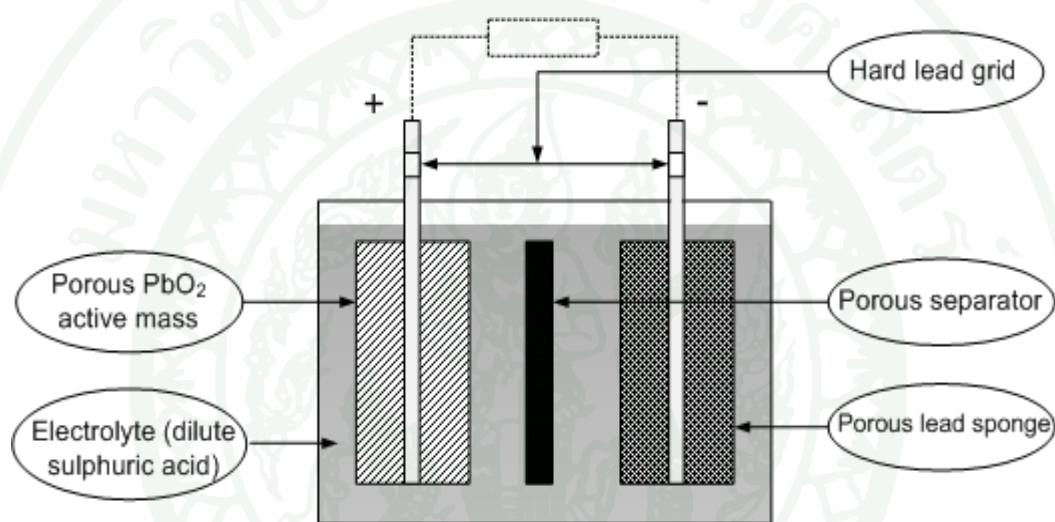
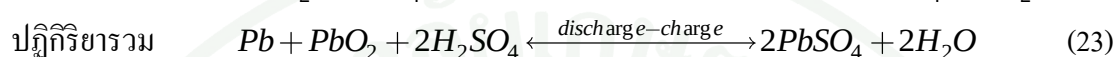
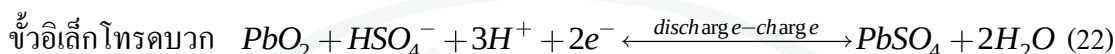
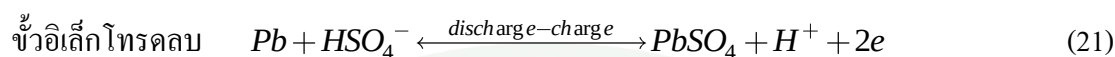
8.1.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Battery lead acid)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่อื่นๆ เช่น นิกเกิล-แคดเมียม มีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 70 % ต้องการการดูแลรักษาน้อยมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำรีไซเคิลได้มาก จึงได้มีการเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้กันอย่างแพร่หลายแบตเตอรี่ตะกั่วกรดในปัจจุบัน สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

8.1.3.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียก (Flooded Lead-acid Battery)

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียกเป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ท่วมแผ่นธาตุและขณะประจุไฟฟ้าจะเกิดก๊าซลอยออกจากแบตเตอรี่ ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นตามระยะเวลาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียกมีข้อดีเช่น ราคาถูก เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นที่ระดับพลังงานเดียวกัน มีการพัฒนามานานแล้วทำให้มีความน่าเชื่อถือและง่ายต่อการหาข้อมูล อัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ สามารถให้กระแสในการคายประจุได้สูง โดยทั่วไปแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียกมีระดับพิกัดแรงดันไฟฟ้า ใช้งานที่ 6 และ 12 V โดยเซลล์ 1 เซลล์จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 2 V แผ่นธาตุบวกของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียกจะใช้ตะกั่วไดออกไซด์

(PbO_2) และแผ่นธาตุลบจะใช้ตะกั่ว (Pb) จึงแผ่นธาตุทั้งสองประกอบไปด้วยโครงตะกั่ว และวัสดุที่เกิดปฏิกิริยา (Active Material) จะถูกเชื่อมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกดัง แสดงในภาพที่ 16 ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วอิเล็กโทรดสามารถแสดงโดยสมการที่ 21 ถึงสมการที่ 23



ภาพที่ 16 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียก

8.1.3.2 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง (Sealed Lead-acid Battery)

วัตถุดิบที่ใช้เป็นขั้วลบ คือ กระบอกสังกะสี ใช้สังกะสีก้อนมาทำการหลอมละลาย ผ่านเครื่องรีดให้เป็นสังกะสีแผ่น นำไปผ่านเครื่องตัดให้ได้สังกะสีตามขนาดที่ต้องการ และนำไปป้อนให้ขึ้นรูปเป็นกระบอกสังกะสีใช้เป็นขั้วลบ วัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบเข้าเป็นก้อนถ่านไฟฉาย ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้

- ขางมะตอย (Asphalt) ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้า

- แป้งสาลี หรือ แป้งมัน ผสมแล้วมีลักษณะคล้ายกาว ทำหน้าที่เป็นตัวยึดให้ก้อนขั้วบวกติดแน่นอยู่กับกระบอกสังกะสี

- กระดาษ มีหลายประเภท เช่น กระดาษเคลือบน้ำยาใช้แทนแป้ง หรือ กระดาษบางกระดาษหนาใช้รองกันและปิดกระบอกไฟฉาย

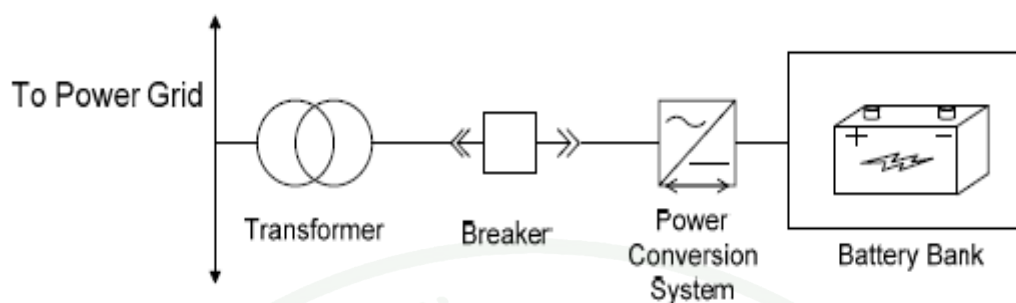
เซลล์แบบแห้ง ได้แก่

- เซลล์แบบสังกะสี-อากาศ (Zinc Air Cell) เป็นเซลล์กระดุมที่มีรูให้อากาศสามารถเข้าที่ด้านล่างซึ่งจะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์ผงสังกะสีผสมอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นขั้วลบ

- เซลล์แบบลิเทียม (Lithium Cell) เป็นเซลล์ซึ่งมีขั้วลบเป็นลิเทียม ส่วนขั้วบวกเป็นแมงกานีสไดออกไซด์ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือโซโณนิลคลอไรด์ ใช้งานกับแรงดันสูงกว่าปกติ

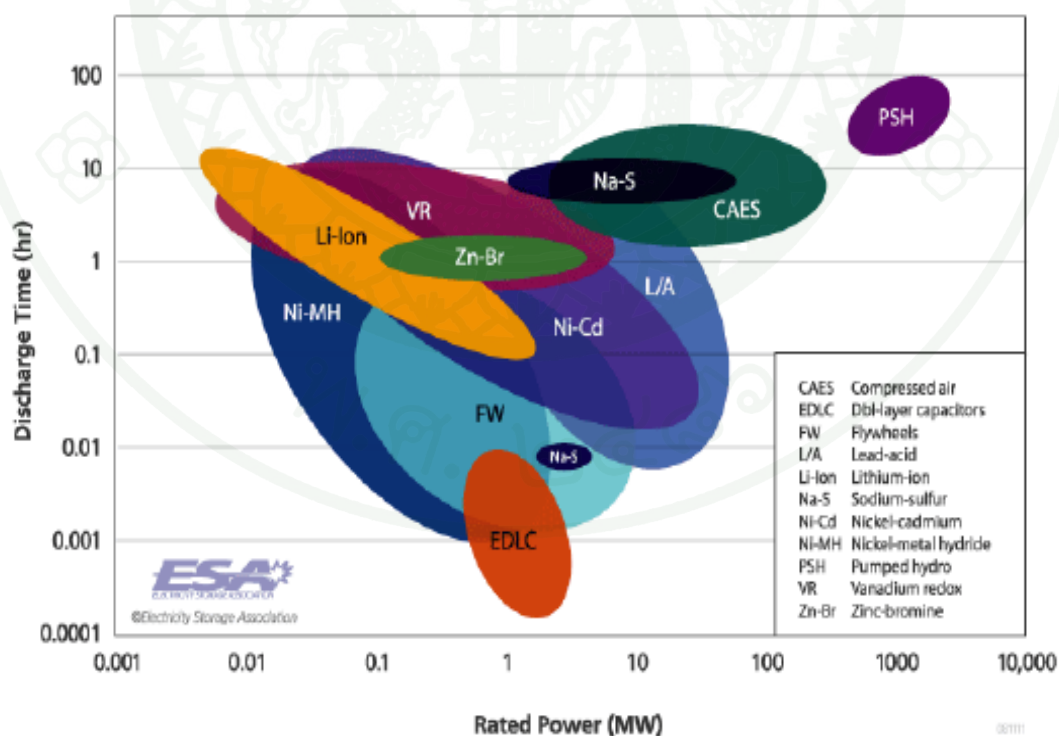
8.2 การสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่

Hill (2011) การสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่เชื่อมต่อกับสายส่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยชุดแบตเตอรี่ที่มีการต่อร่วมกัน (Battery Bank) ชุดอิเล็กทรอนิกส์กำลังทำหน้าที่เชื่อมโยงเพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่ระบบโดยแปลงผันแรงดันและกระแส เซอร์คิตเบรกเกอร์หรือรีเลย์ที่ใช้ป้องกันความผิดปกติและหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อยกระดับแรงดันที่ถูกจ่ายออกจากแบตเตอรี่ไปยังระบบส่งหรือระบบจำหน่าย ระบบ แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่อย่างง่าย ที่แสดงในภาพที่ 17 การแปลงผันกำลังไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปจะมีทั้งกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้น (Real Power) และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่เกิดขึ้น (Reactive Power) ซึ่งสามารถที่จะรับหรือจ่ายออกได้ทันทีเมื่อระบบมีความต้องการ



ภาพที่ 17 ไคอะแกรมเส้นเดียวของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่อย่างง่าย

ชุดแบงค์แบตเตอรี่จะประกอบด้วยแบตเตอรี่หลายตัวเชื่อมต่อแบบอนุกรมหรือขนาน เพื่อให้สามารถได้กระแสตามที่ต้องการ และขนาดระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่จะมีอยู่ 2 พิกัดคือ ขนาดกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ (MW) และขนาดพลังงานของแบตเตอรี่ (MJ) ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้ระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้า 2 MW เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะถูกเขียนขนาดของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่เป็น 2MW/4MWh



ภาพที่ 18 พิกัดของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่มีการมีการใช้ในปัจจุบัน

คุณลักษณะของขนาดกำลังไฟฟ้าและพลังงานของแบตเตอรี่ จะถูกพิจารณาจากโครงสร้างทางเคมีที่ใช้ ซึ่งสารเคมีของระบบแบตเตอรี่ที่นิยมนำมาใช้ในระบบสะสมพลังงานจะเป็น lead-acid, sodium sulfur (Na-S), and Li-Io และอีกหลายโครงสร้างทางเคมีที่มีการอธิบายไว้ รายละเอียดเกี่ยวกับหลายๆ โครงการในปัจจุบันที่มีการใช้ระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ใน (Parker, 2004)

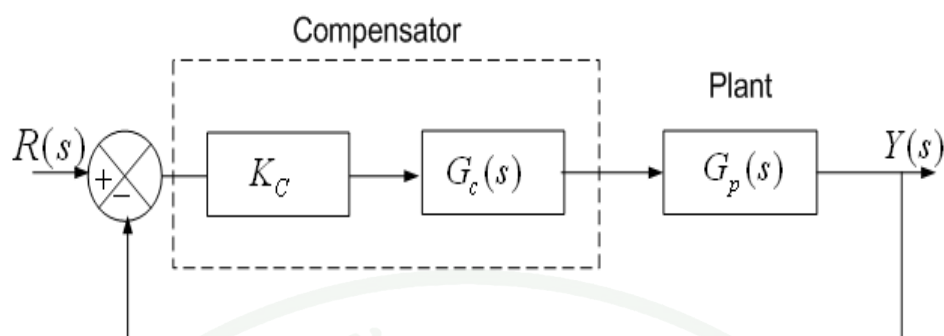
10. ตัวชดเชยแบบเฟสนำหน้าและตัวชดเชยแบบเฟสล้าหลัง (Lead-Lag Compensator)

โดยทั่วไปในการควบคุมระบบวงปิด วิธีที่ง่ายที่สุดในการควบคุมระบบวงปิดคือการใช้อัตราขยายค่าคงที่ (ตัวควบคุมแบบสัดส่วน) การควบคุมดังกล่าวช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัว เมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นแบบค่าคงที่ และถ้าใช้อัตราขยายที่มาก ผลตอบสนองของระบบในช่วงสถานะเข้าที่จะเร็วแต่มีการแกว่งสูง และอาจจะทำให้ขาดเสถียรได้ อย่างไรก็ตามการใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว ไม่สามารถทำให้ระบบวงปิดมีสมรรถนะตามที่ต้องการได้เสมอไป จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมชนิดอื่นเข้ามาช่วย เช่นตัวควบคุม แบบอินทิกรัล หรือตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

นอกจากนี้ยังมีวิธีในการเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบ โดยการเปลี่ยนโครงสร้างของระบบด้วยตัวชดเชย (Compensator) เพื่อให้ระบบวงปิดมีสมรรถนะที่ต้องการได้ ตัวชดเชยถูกใส่ในลักษณะอนุกรมกับระบบเดิม เพื่อชดเชยสมรรถนะของระบบ ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวตัวชดเชย 2 แบบ ได้แก่ตัวชดเชยแบบนำหน้า และล้าหลัง (Lead-Lag Compensator)

10.1 การออกแบบตัวควบคุมแบบมีการชดเชย

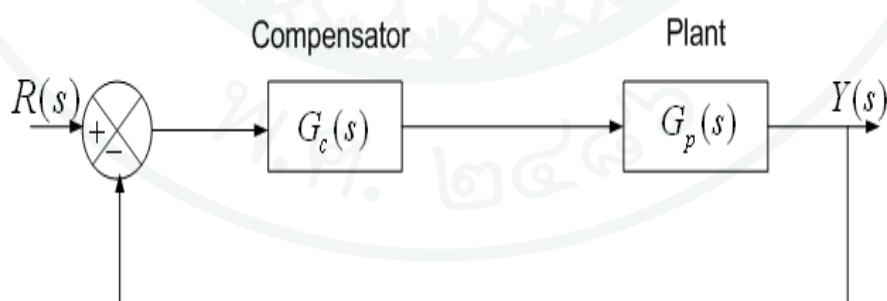
สุชาติ (2555) การออกแบบตัวควบคุมแบบนี้ สามารถปรับปรุงลักษณะของผลตอบสนองให้มีความเร็วได้ตามที่ต้องการ รวมไปถึงการปรับปรุงค่าความผิดพลาดในสถานะคงตัว การปรับปรุงด้วยวิธีการนี้จะต้องมีการเพิ่มโพลและซีโรเข้าไปในระบบ ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ระบบควบคุมแบบมีการชดเชย

การเพิ่มโพลหรือซีโรว์เข้าไปในระบบ จะมีผลทำให้เส้นทางเดินรากของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อสามารถบังคับให้เส้นทางเดินรากเปลี่ยนแปลงได้ ก็สามารถเลือกตำแหน่งของโพล ณ ตำแหน่งใดๆบนระนาบเอสได้ นั่นก็หมายความว่านอกจากจะสามารถเลือกอัตราส่วนของระบบได้แล้ว ยังสามารถเลือกค่าความถี่ธรรมชาติได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งก็หมายถึงสามารถปรับปรุงความเร็วของผลตอบสนองได้นั่นเอง และถ้าหากเพิ่มโพลใกล้จุดกำเนิดก็จะส่งผลต่อค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวอีกด้วย

จากภาพที่ 19 ในการออกแบบตัวควบคุมแบบชดเชย ที่นอกจากจะประกอบด้วยโพลและซีโรว์แล้ว ยังรวมถึงค่าเกนของตัวควบคุมด้วย ดังนั้นภาพที่ 19 สามารถมองค่าเกนและฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมเป็นตัวเดียวกันดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ตัวควบคุมแบบมีการชดเชย

โดยฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมนี้คือ

$$G_c(s) = \frac{K_c \prod_{i=1}^m (s + z_i)}{\prod_{j=1}^n (s + p_j)} \quad (24)$$

10.2 ผลของการชดเชยด้วยโพลและซีโร

จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มโพลเข้าไปในระบบ มีผลทำให้เส้นทางเดินรากเปลี่ยนไป โดยเส้นทางเดินรากจะถูกผลักไปทางด้านขวามือของระนาบเอส การเพิ่มโพลหรือซีโรเข้าไปในระบบจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางเดินราก มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าตำแหน่งของโพลหรือซีโรที่เพิ่มเข้าไปนั้นวางอยู่ใกล้กับจุดกำเนิดหรือไม่ ถ้าหากวางไว้ใกล้จุดกำเนิดมากเท่าใด ย่อมส่งผลให้เส้นทางเดินรากเปลี่ยนไปมากเท่านั้น

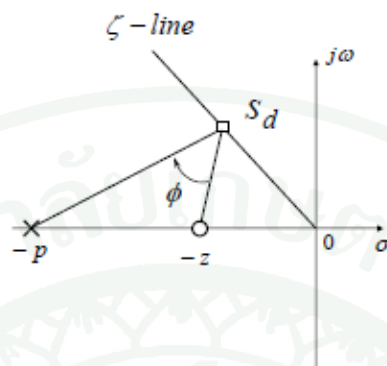
สรุปผลของการเพิ่มโพลและซีโรเข้าไปในระบบมีดังนี้

- การเพิ่มซีโรเข้าไปในระบบจะทำให้เส้นทางเดินรากถูกผลักไปทางด้านซ้าย
- การเพิ่มโพลเข้าไปในระบบจะทำให้เส้นทางเดินรากถูกผลักไปทางด้านขวา
- การเพิ่มโพลตรงจุดกำเนิดจะเป็นการทำให้ชนิดของระบบสูงขึ้น หรือเป็นการจำกัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว
- การเพิ่มโพลให้ตรงกับซีโรจะทำให้เกิดการหักล้างกัน หรือถ้าหากวางไว้ใกล้ๆ กันก็ จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองและเส้นทางเดินรากมากนัก

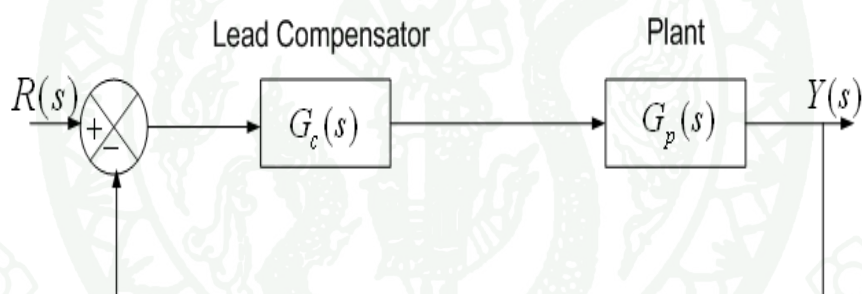
10.3 ตัวชดเชยแบบเฟสนำหน้า (Lead Compensator)

การชดเชยแบบเฟสนำหน้าใช้สำหรับปรับปรุงความเร็วของผลตอบสนอง ทำได้ด้วยการเพิ่มโพลและซีโรเข้าไปในระบบ โดยการวางซีโรบนแกนจริงบริเวณด้านล่างคู่โพลเชิงซ้อนของ

ระบบ (Dominant complex poles) และวางโพลอีกตัวหนึ่งไว้ทางด้านซ้ายมือของซีโรที่เพิ่มเข้ามา ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การเพิ่มโพลและซีโรสำหรับการชดเชยแบบเฟสนำหน้า



ภาพที่ 22 บล็อกไดอะแกรมของตัวชดเชยแบบเฟสนำหน้า

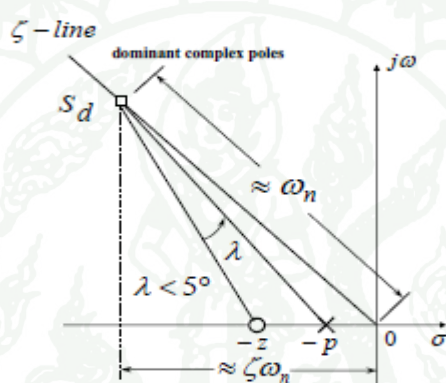
ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบนี้คือ

$$G_c(s) = \frac{K_c(s+z)}{(s+p)}; z < p \quad (25)$$

สัดส่วนของระยะห่างระหว่างโพลและซีโร p/z ไม่ควรเกิน 10 เท่า ถ้าหากเกินกว่านี้ แนะนำให้เพิ่มตัวควบคุมแบบนี้อีกหนึ่งชุดหนึ่ง (Double Lead Compensator)

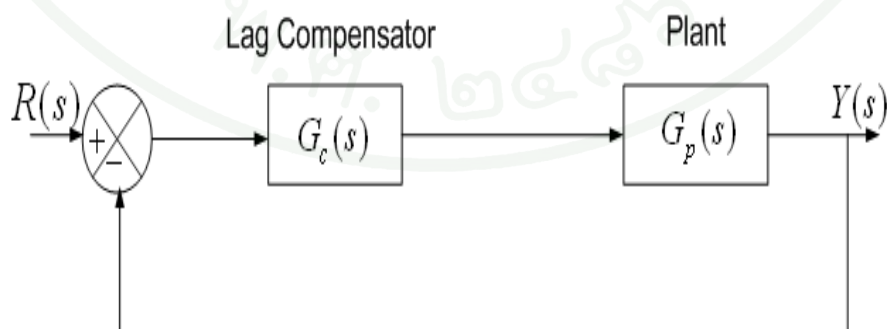
10.4 ตัวชดเชยแบบเฟสล่าช้า (Lag Compensator)

การชดเชยแบบเฟสล่าช้าใช้สำหรับปรับปรุงค่าความผิดพลาดในสถานะคงตัว ทำได้ด้วยการเพิ่มโพลและซีโรเข้าไปในระบบ โดยการวางโพล บนแกนจริงใกล้ๆจุดกำเนิด และวางซีโรอีกตัวหนึ่งไว้ทางด้านซ้ายมือของโพลที่เพิ่มเข้ามา เนื่องจากวางโพลและซีโรไว้ใกล้ๆกันซึ่งจะมีผลใกล้เคียงกับการหักล้างกัน จึงทำให้ผลตอบสนองของระบบในสถานะชั่วครู่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และเส้นทางเดินรากก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเช่นกัน โดยจะถูกผลักไปทางด้านขวามือเล็กน้อย เนื่องจากวางโพลที่วางไว้ใกล้จุดกำเนิดมากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 การเพิ่มโพลและซีโรสำหรับการชดเชยแบบเฟสล่าช้า

มุมระหว่างโพลและซีโรชดเชย λ ไม่ควรเกิน 5°



ภาพที่ 24 บล็อกไดอะแกรมของตัวชดเชยแบบเฟสล่าช้า

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมนี้คือ

$$G_c(s) = \frac{K_c(s+z)}{(s+p)}; p < z \quad (26)$$

ตัวควบคุมแบบนี้ จะมีผลทำให้ค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวลดลงประมาณ เท่ากับสัดส่วนของระยะห่างระหว่างโพลกับซีโร p/z ตามสมการ

$$e_{ss}^c \cong \frac{e_{ss}^u}{\beta}; \beta = \frac{z}{p}; \quad (27)$$

โดยที่

$$e_{ss}^u : \text{before}; e_{ss}^c : \text{after}$$

11. จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

วิธีการที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เรียกว่า Genetic Algorithm เป็นการจำลอง กระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยขั้นตอนใน Algorithm นี้ จะเริ่มจาก ชุดคำตอบ (แทน ด้วย Chromosome) เรียกว่า ประชากร (Population) คำตอบจะมาจากการนำประชากรหนึ่งมา สร้างประชากรใหม่ขึ้นมา โดยหวังว่า ประชากรใหม่ที่ได้มาจะดีกว่าประชากรชุดเก่า คำตอบจะถูก เลือกจากคำตอบชุดใหม่ (ลูกหลาน หรือ Offspring) ซึ่งถูกคัดเลือกจากความเหมาะสม (Fitness) ทำซ้ำกระบวนการนี้ไปจนกระทั่งบรรลุล้างเงื่อนไข (เช่น จำนวนของประชากรหรือได้คำตอบที่ถูก พัฒนาให้ดีที่สุดแล้ว)

สำหรับองค์ประกอบหลักๆ ของ Genetic Algorithm มีดังนี้

11.1 Chromosome Encoding

11.2 Initial Population

11.3 Fitness Function

11.4 Genetic Operator -> Selection, Crossover, Mutation

11.5 Parameters

สามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดังนี้

11.1 Chromosome Encoding คือ ขั้นตอนสำหรับแปลงทางเลือกสำหรับการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปแบบของ Chromosome ในการแปลงวิธีการสำหรับแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปแบบของ Chromosome นั้นสามารถที่จะทำได้ในหลายรูปแบบซึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละปัญหา

11.2 Initial Population คือ การสุ่มเลือกเพื่อสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของ Genetic Algorithm โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรต้นกำเนิดจะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจากกลุ่มของประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ โดยในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้เป็น Parameter ของ Algorithm

11.3 Fitness Function คือ ฟังก์ชันสำหรับประเมินค่าความเหมาะสมเพื่อให้คะแนนสำหรับคำตอบต่างๆ ที่เป็นไปได้ของปัญหาโครโมโซมทุกตัว จะมีค่าความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่า โครโมโซมตัวนั้นเหมาะหรือไม่ที่จะนำมาใช้สืบทอดพันธุกรรมสำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ โดยวิธีการสำหรับคิดค่าความเหมาะสมนั้นจะใช้สมการที่สอดคล้องกับแต่ละปัญหา

11.4 Genetic Operator คือ การดำเนินการต่างๆตามขั้นตอนของ Genetic Algorithm เพื่อให้การเกิดวิวัฒนาการนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้น ซึ่งได้แก่ Selection, Crossover และ Mutation

11.5 Parameter คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของ Genetic Algorithm เช่น ขนาดของประชากร, ความน่าจะเป็นของการ Crossover หรือ ความน่าจะเป็นของการ Mutation

11.5.1 Crossover Probability คือ ความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 100 โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของค่าความน่าจะเป็นในการเกิด Crossover จะอยู่ที่ 60% - 95% และในกรณีที่ไมเกิดการ Crossover เกิดขึ้นจะเป็นการทำสำเนา (Copy) รูปแบบของพันธุกรรมจาก Parent ไปสู่ Offspring เลย ยกตัวอย่าง การทำ Crossover เช่น เรากำหนดให้ Crossover Probability มีค่าเป็น 85% ถ้าเราทำการสุ่มเลือกตัวเลขขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่า Crossover Probability ได้เท่ากับ 20 นั่นคืออยู่ในช่วงที่ ≤ 85 ในกรณีนี้จะยอมให้เกิดการ Crossover เกิดขึ้น

11.5.2 Mutation Probability คือ ความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 100 ส่วนใหญ่ค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation จะถูกกำหนดไว้ให้อยู่ในช่วง 0% - 1% ต่อตำแหน่งของ Chromosome ในกรณีที่ไม่มี Mutation นั้นหมายความว่ามีการ Crossover เกิดขึ้นเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าหากว่าเกิดการ Mutation 100% จะทำให้ทุกตำแหน่งใน Chromosome มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งสำหรับใน Genetic Algorithm นั้นอาจเกิดกรณีนี้ขึ้นได้แต่ไม่บ่อยนัก ไม่เช่นนั้นการค้นหาค่าจะเปลี่ยนจาก Genetic Algorithm การเป็น Random Search

11.5.3 Population Size หรือ จำนวนของประชากรในแต่ละรุ่น ถ้ามีจำนวนมากเกินไปจะทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลมากและทำงานได้ช้าลง หรือ หากน้อยเกินไปก็จะทำให้การค้นหานั้นสามารถที่จะเข้าสู่คำตอบที่เป็น Global Minimum ได้ช้าเกินไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. โปรแกรม Microsoft Office 2007
4. โปรแกรม Matlab R2010a

วิธีการ

1. ศึกษาทฤษฎีของการควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา
2. ศึกษาแบบจำลองพลวัตของการระบบควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา
3. ศึกษาแบบจำลองของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งกำเนิดจากพลังงานลมและแหล่งกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์
4. สร้างแบบจำลองความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ
5. ศึกษาแบบจำลองของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่
6. พัฒนาแบบจำลองของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ โดยใช้ตัวชดเชยแบบนำหน้า-ตามหลัง (Lead-Lag Compensator) ในการควบคุมของการรับหรือจ่ายพลังงานจากระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่

7. ศึกษาทฤษฎีหลักการ ของอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งกำเนิดพลังงานลมและแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์

8. หาสัดส่วนที่เหมาะสมของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งกำเนิดพลังงานลมและแหล่งกำเนิด พลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในระบบไมโครกริด โดยมีและไม่มีอัตราการลาดเอียง กำลังไฟฟ้า

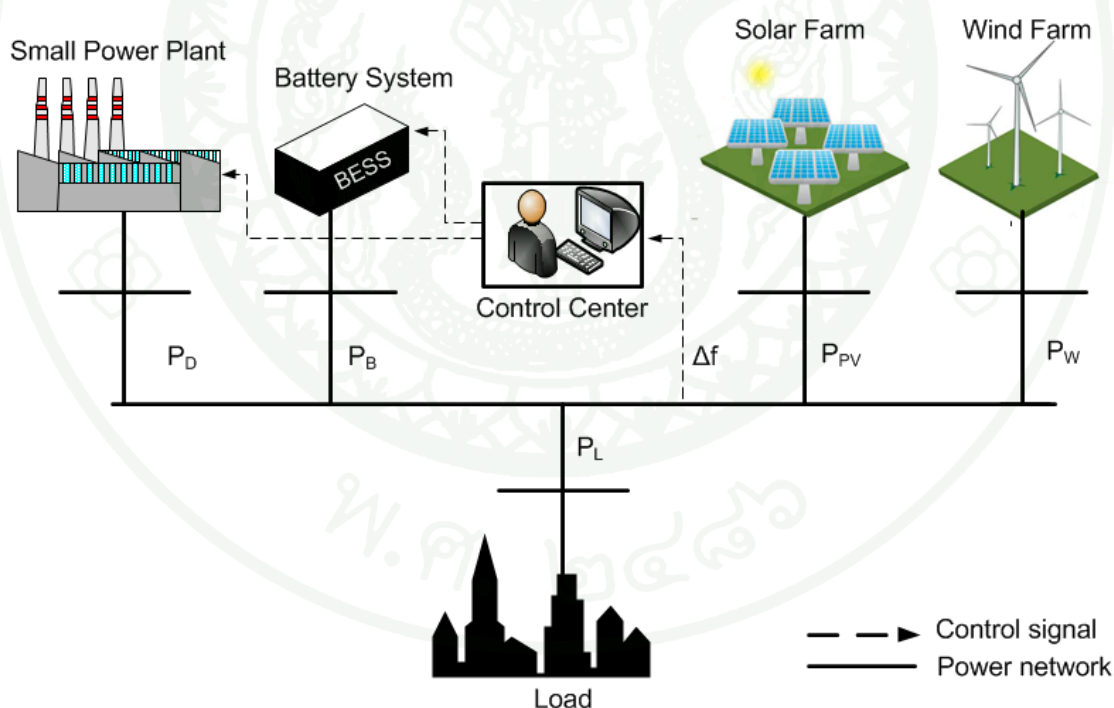
9. หาขนาดพิกัดของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่เพื่อที่จะใช้ควบคุมความถี่ของ ระบบให้อยู่ในกฎเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

10. วิเคราะห์และสรุปผล

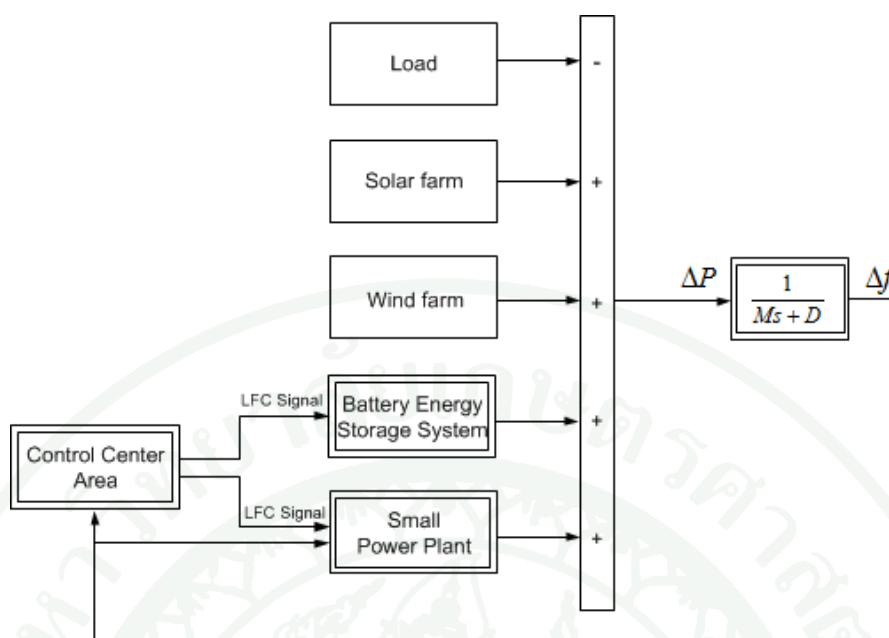
แบบจำลองและการออกแบบ

1. ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา

ภาพที่ 25 แสดงระบบไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ควบคุมความถี่ได้, ระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่, ฟาร์มกังหันลม, ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ และกลุ่มโหลดกิจการขนาดเล็ก ความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้ในการจำลองในไมโครกริด ได้มาจากข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดกิจการขนาดเล็ก ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority, PEA) โดยมีความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดสูงสุดเท่ากับ 130 MW และได้มีการสมมุติว่ามีความต้องการให้มีกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในไมโครกริดเพิ่มขึ้น 25% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดสูงสุด



ภาพที่ 25 ระบบไมโครกริด



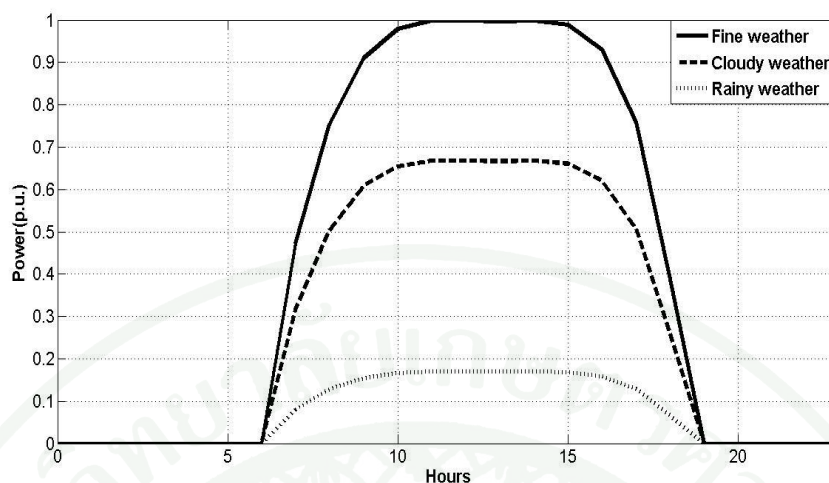
ภาพที่ 26 แบบจำลองระบบไมโครกริด

ภาพที่ 26 แสดงแบบจำลองระบบไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา ความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหนดกิจการขนาดเล็กถูกจำลองจากข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และได้มีความต้องการให้ระบบมีพลังงานทดแทน ประมาณ 25% โดยได้มีการสร้างแบบจำลองในการจัดสัดส่วนของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในระบบให้พลังงานทดแทน 2 ชนิดคือ แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic) และแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Power) เพื่อที่จะหาสัดส่วนที่เหมาะสมให้กับระบบ

2. แบบจำลองของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 27 แสดงกราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะผลิตกำลังไฟฟ้าในช่วง 06.00-18.00 ในช่วงระยะเวลา 1 วัน (International Energy Agency , 2010)

มีสภาพอากาศอยู่ 3 รูปแบบที่ได้รับการพิจารณา รูปแบบสภาพอากาศของแต่ละช่วงจะถูกประเมินโดยการสุ่มค่า X ซึ่งจะขึ้นอยู่กับข้อมูลความน่าจะเป็นสภาพอากาศในช่วงที่พิจารณาว่าเป็นแบบ ท้องฟ้าแจ่มใส (P_f) มีเมฆมาก (P_{cl}) หรือฝนตก (P_r)



ภาพที่ 27 แสดงกราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์

สภาพอากาศแบบท้องฟ้าแจ่มใส (Fine weather)	:	$X > 1 - P_f$
สภาพอากาศแบบมีเมฆมาก (Cloudy weather)	:	$1 - P_f > X > 1 - P_f - P_{cl}$
สภาพอากาศแบบมีฝนตก (Rainy weather)	:	$1 - P_f - P_{cl} > X$

โดยสมมุติให้ P_f , P_{cl} , P_r เท่ากับ 0.80(80%), 0.17(17%), และ 0.03(3%) ตามลำดับ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาได้ตามสมการที่ (28)

$$P_{PV} = C_{PV} \cdot f_{PV} \cdot \Delta T \quad (28)$$

เมื่อ	C_{PV}	คือ	พิกัดของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์
	f_{PV}	คือ	ฟังก์ชันคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์
	ΔT	คือ	เป็นเวลาในช่วงที่พิจารณา

โดยที่รายละเอียดของฟังก์ชันคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการ (28) และสมการ (29) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวันและสภาวะสภาพอากาศ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจากการทำงานที่เกิดขึ้นจริง

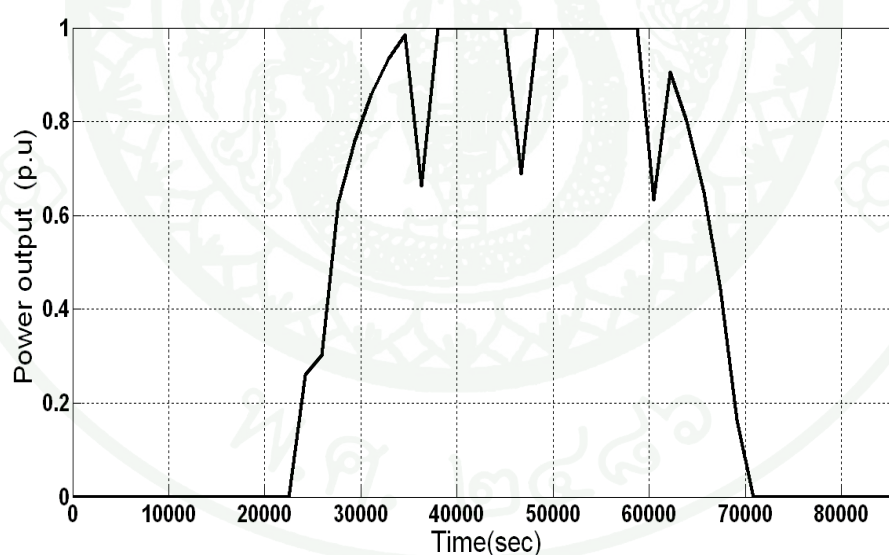
สำหรับ $6 < T < 18.5$:

$$f_{PV}(T) = (-0.0000323955T^5 + 0.0012949488T^4 - 0.0133779943T^3 - 0.07745311T^2 + 2.0436509568T - 7.9849739044) \times WF \quad (29)$$

สำหรับ $T < 6$ และ $18.5 < T$

$$f_{PV}(T) = 0 \quad (30)$$

เมื่อ T คือ เวลาในช่วงที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ (6.00-18.00 น.)
 WF คือ แฟกเตอร์ของสภาพอากาศ (สภาพอากาศแบบท้องฟ้าแจ่มใส: $WF = 1$, สภาพอากาศแบบมีเมฆมาก: $WF = 0.65$, สภาพอากาศแบบมีฝนตก $WF = 0.16$)



ภาพที่ 28 ความแปรปรวนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์

3. แบบจำลองของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม

International Energy Agency (2010) ได้นำข้อมูลลมที่เกิดขึ้นจริงมาทำการวิเคราะห์การแจกแจงทางสถิติของความเร็วลมโดยการฟิตด้วยการแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull distribution) ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้กันมาก โดยการแจกแจงแบบไวบูลล์มีฟังก์ชันของความน่าจะเป็นดังนี้

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} \quad (31)$$

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์โปรไฟล์ (profile coefficient)

c คือ ค่าสัมประสิทธิ์สเกล (scale coefficient)

V คือ ความเร็วลม

เมื่อ $k = 2$ สามารถจัดรูปฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์ให้อยู่ในรูปการแจกแจงแบบของเรย์เลย์ (Rayleigh distribution) ได้ดังต่อไปนี้

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2} \quad (32)$$

$\bar{V}$ คือ ความเร็วลมเฉลี่ย

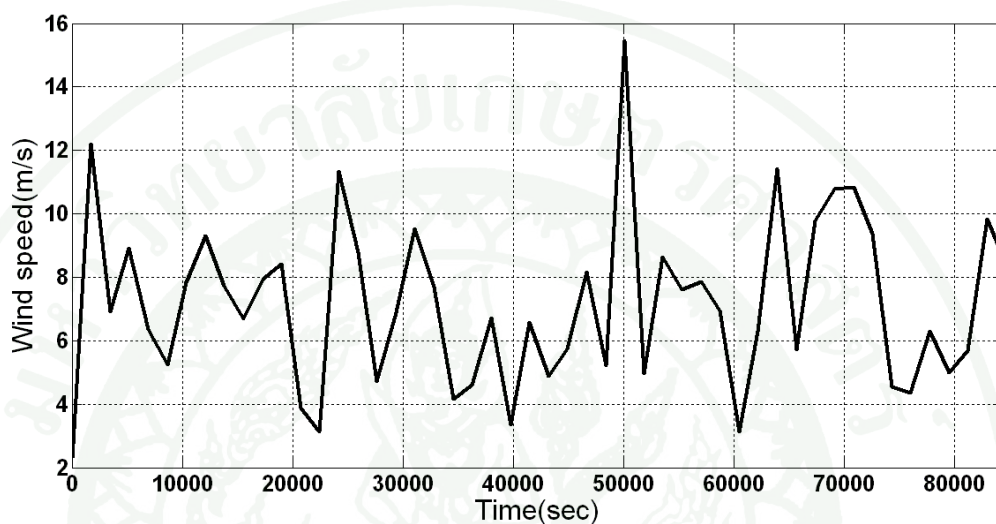
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การแจกแจงแบบเรย์เลย์นำมาใช้เป็นตัวแทนการกระจายตัวของความเร็วลม ซึ่งฟังก์ชันที่ถูกอินทิเกรตจะถูกแสดงในสมการ(32)

$$F(V) = \int_0^V f(V) dV = 1 - e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2} \quad (33)$$

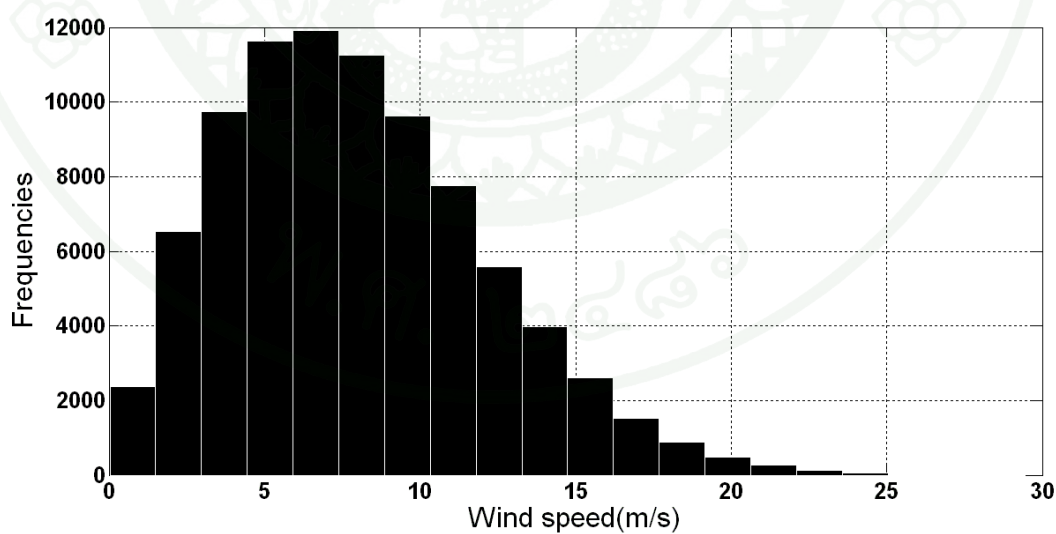
เนื่องจาก $\bar{V}$ จะมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยการสุ่มค่าด้วย X ซึ่งความเร็วลม V จะสุ่มตามฟังก์ชันการแจกแจงแบบของเรย์เลย์ ที่แสดงในสมการที่ (33)

$$V = \frac{2\bar{V}}{\sqrt{\pi}} (-\ln(1-X))^{0.5} \quad (34)$$

ความเร็วลมและการแจกแจงดังภาพที่ 29 และภาพที่ 30 สามารถหาได้จากสมการ (34)



ภาพที่ 29 ความเร็วลมที่ถูกจำลอง (เฉลี่ย : 8 m/s)



ภาพที่ 30 การแจกแจงของความเร็วลมที่ถูกจำลอง

แบบจำลองการทำงานของกังหันลม

ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานลมหาได้จาก

$$P_w = \frac{C_w \rho A}{2} V^3 = \frac{C_w \rho \pi R^2}{2} V^3 \quad (35)$$

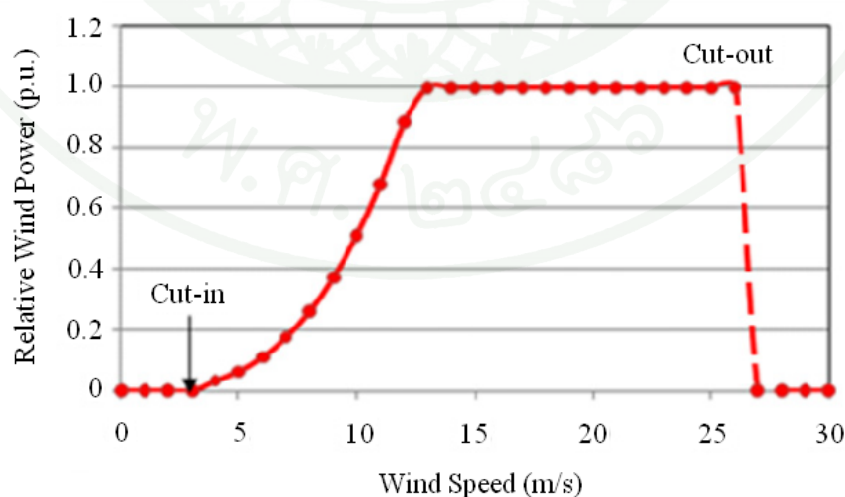
เมื่อ	P_w	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม (W)
	C_w	คือ	ประสิทธิภาพของกังหัน
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ $1.225 \text{ kg} / \text{m}^3$
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัด (m^2)
	V	คือ	ความเร็วลม (m / s)
	R	คือ	รัศมีของกังหันลม (m)

สังเกตว่าการจำลองกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขในดังภาพที่ 31 โดยที่

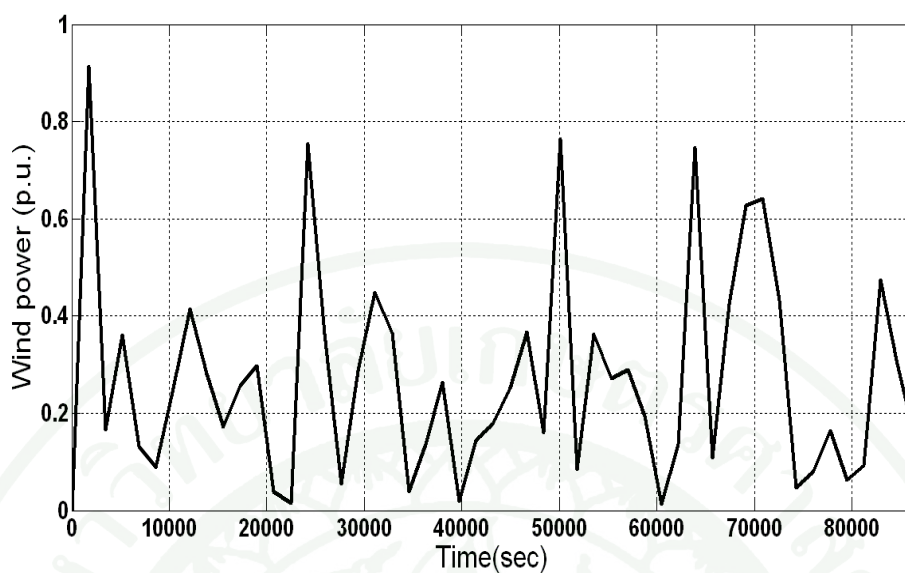
$0 < V < \text{Cut-in speed} : f_w = 0$

$\text{Cut-in speed} < V < \text{Base load speed} : f_w = C_0 \cdot V^3$

$\text{Base load speed} < V < \text{Cut-out speed} : f_w = C_{base}$



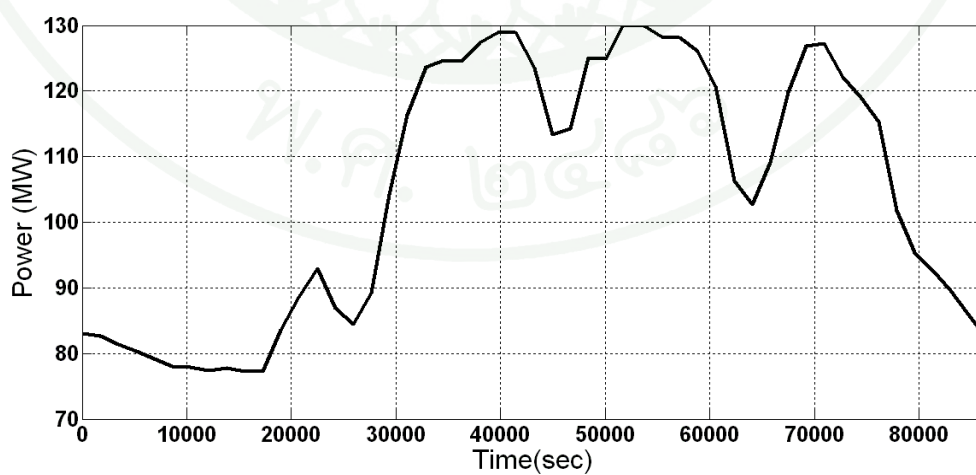
ภาพที่ 31 แสดงกราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม



ภาพที่ 32 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม

4. แบบจำลองความต้องการกำลังไฟฟ้า

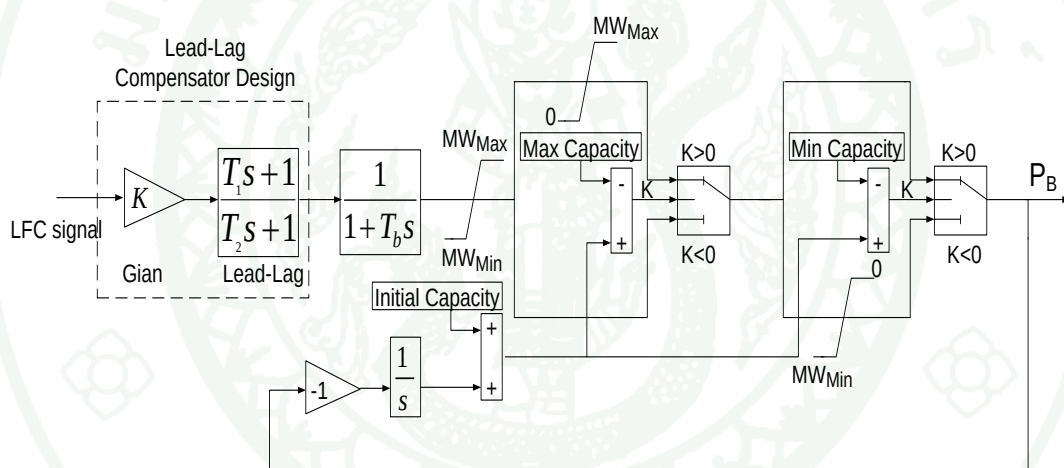
ความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้ในการจำลองในไมโครกริด ได้มาจากข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดกิจการขนาดเล็ก ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า, 2554) โดยมีความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดสูงสุดเท่ากับ 130 MW ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้ในการจำลองในไมโครกริด

5. แบบจำลองของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่

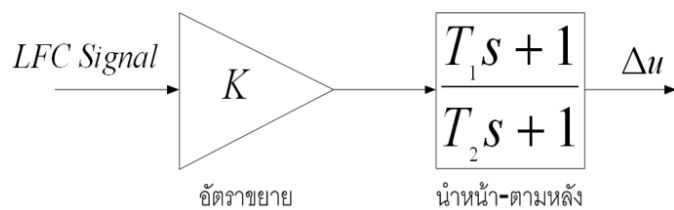
Arita et al. (2006); Masuta et al. (2012) แบบจำลองของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ดังภาพที่ 34 มีตัวควบคุมของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่เป็นแบบตัวควบคุมแบบมีการชดเชยนำหน้า หรือ ตามหลัง (Lead-lag) และมีการหน่วงเวลาของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการควบคุมเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบอันดับหนึ่ง (first-order model) โดยค่าการหน่วงเวลาเขียนแทนด้วย T_b และค่าประสิทธิภาพของการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่จะถูกกำหนดเป็น 80% ส่วนสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่ (state of charge, SOC) ของแบตเตอรี่จะลดลงตามระยะเวลาที่จ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อได้รับสัญญาณ LFC เป็นการชาร์จ แบตเตอรี่ก็จะทำการดิสชาร์จกำลังไฟฟ้าที่ความถี่เดียวกันและขนาดเดียวกันเข้าไปในไมโครกริด



ภาพที่ 34 แบบจำลองระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่

5.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ GA ออกแบบตัวควบคุมนำหน้า-ตามหลัง (Lead-lag)

การออกแบบตัวควบคุมของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ โดยที่จะหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ K , T_1 และ T_2 ของตัวควบคุม โดยตัวควบคุมนำหน้า-ตามหลังจะถูกหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์โดยวิธีจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) โดยจะรับค่าจากสัญญาณที่เกินกำลังการควบคุมของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ควบคุมความถี่จากศูนย์ควบคุม (LFC Signal) ก่อนที่จะส่งสัญญาณอินพุตให้กับระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ (Δu) ในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ส่วนประกอบของตัวควบคุมการหน่วง

โดยแทนฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ที่ต้องการหาเพื่อที่จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนของควมถี่ที่ต่ำที่สุด ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนความถี่กลับเข้ามาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า โดยแทนฟังก์ชันเป้าหมายสามารถสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Min } J = \int_0^t \Delta f^2 dt \quad (36)$$

โดยมีเงื่อนไข

$$0 \leq K \leq 10$$

$$0 \leq T_1, T_2 \leq 1$$

ผลและวิจารณ์

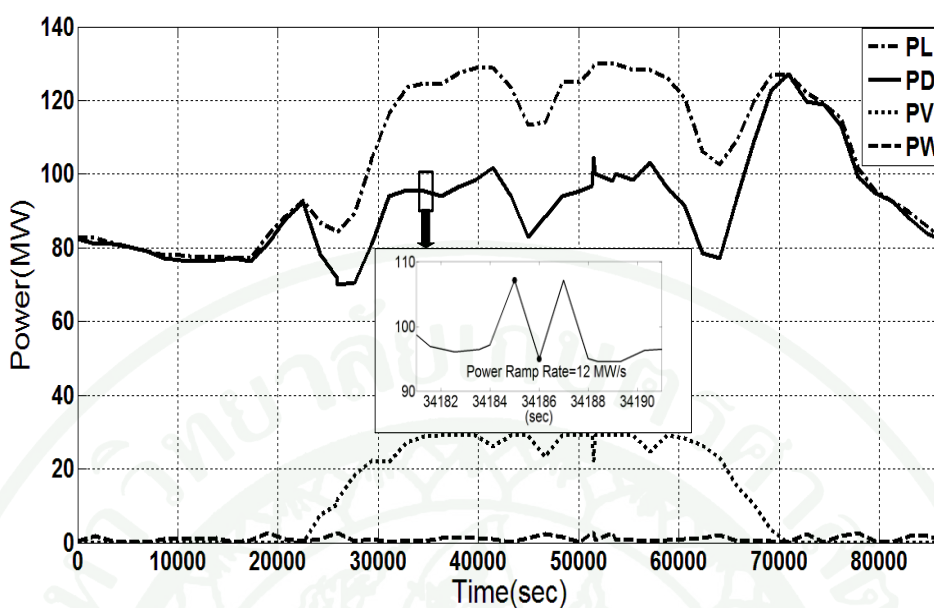
ผล

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานทดแทนที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปในไมโครกริดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ในตารางที่ 3 เป็นสัดส่วนของแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนที่ติดตั้งในระบบไมโครกริด โดยใช้แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนจะมีอยู่ 2 ระบบ คือแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานลม เพื่อที่จะกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมให้กับระบบ

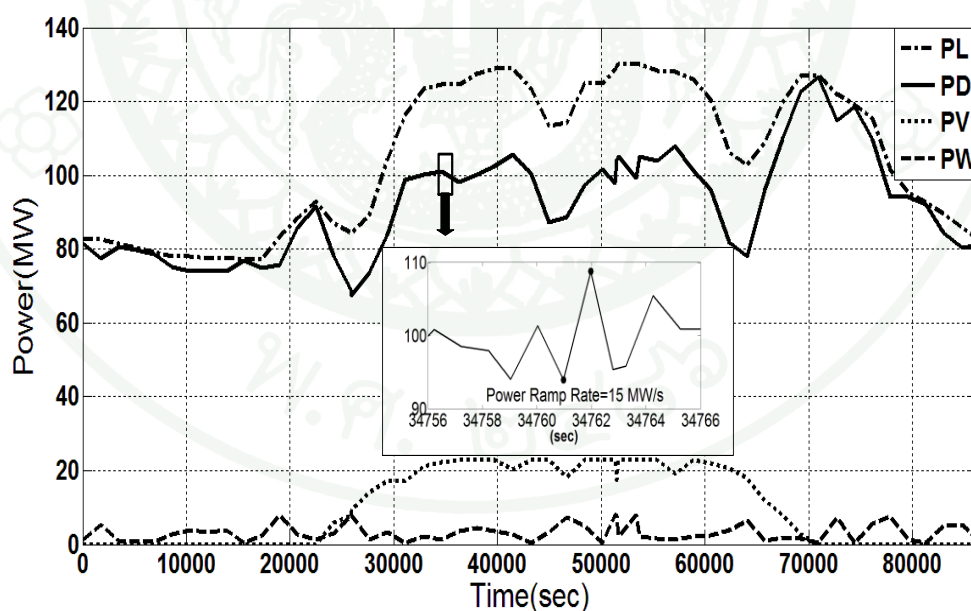
ตารางที่ 3 สัดส่วนของแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนที่ติดตั้งในระบบไมโครกริด

กรณี	แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนที่ต้องการ 32.5 MW (25% ของความต้องการกำลังไฟฟ้า)	
	แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม
1	29.25MW (90%)	3.25MW (10%)
2	22.75MW (70%)	9.75MW (30%)
3	16.25MW (50%)	16.25MW (50%)
4	9.75MW (30%)	22.75MW (70%)
5	3.25MW (10%)	29.25MW (90%)

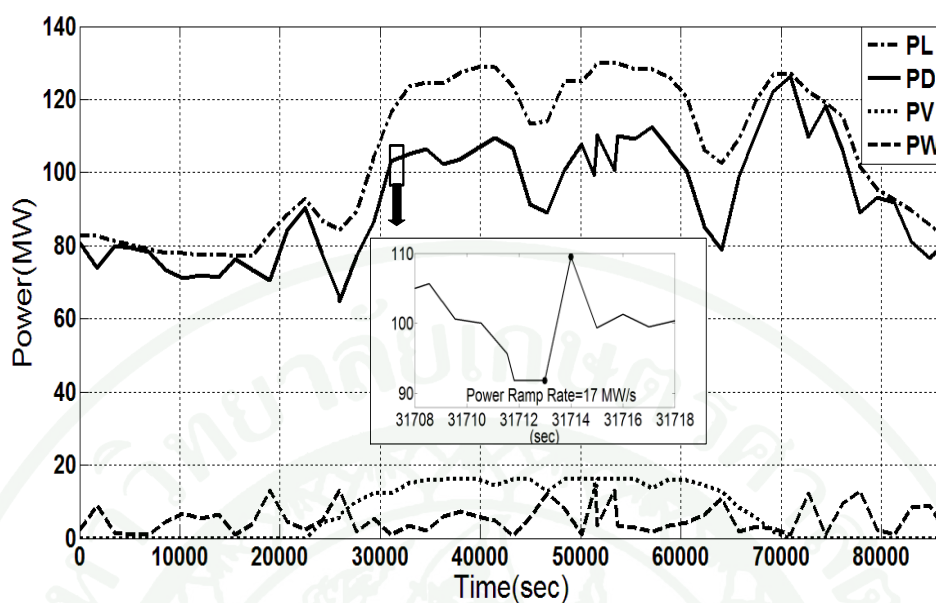
จากภาพที่ 36 ถึงภาพที่ 40 เป็นกำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมที่แตกต่างกัน โดยกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ควบคุมความถี่ (P_D) ที่มาจากส่วนต่างกำลังไฟฟ้าของโหลด (P_L) ลบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม (P_W) และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังแสงอาทิตย์ (P_V) ที่มีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือลดลงอย่างรวดเร็ว ถูกกำหนดเป็นอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า (PRR) ในช่วงเวลาที่กำหนด สมการการหาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าจะแสดงได้ในสมการ (20)



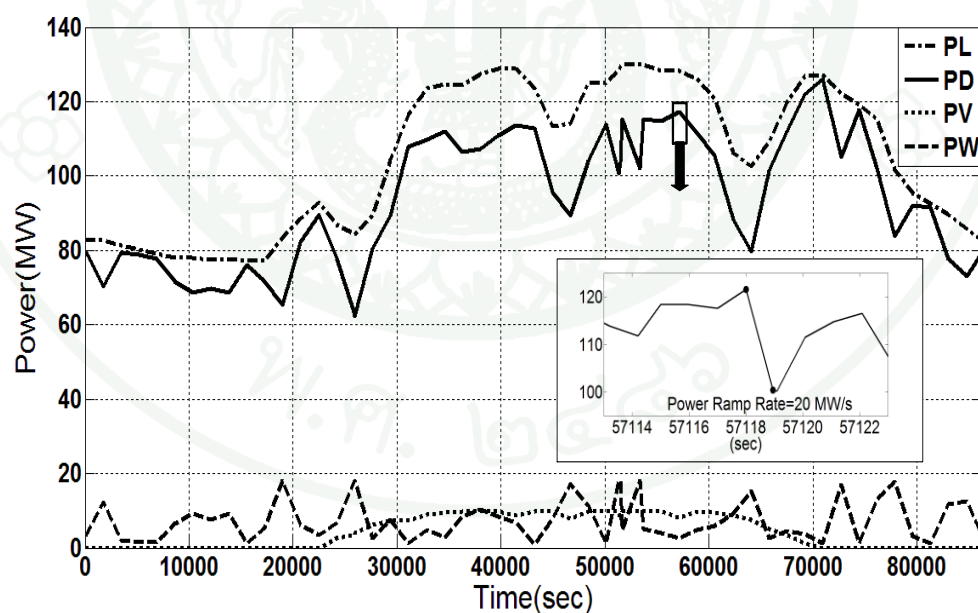
ภาพที่ 36 กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 90% และพลังงานลม 10%



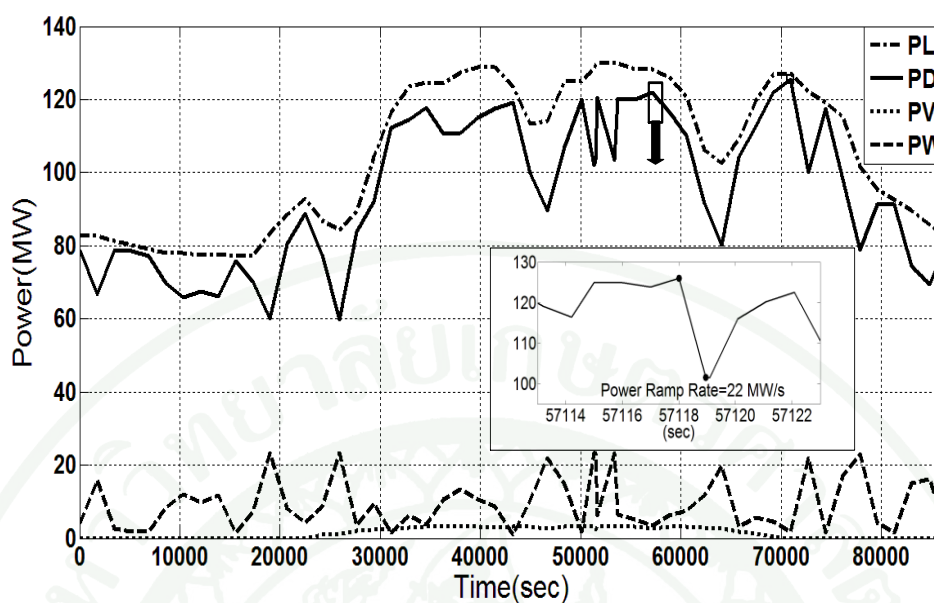
ภาพที่ 37 กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 70% และพลังงานลม 30%



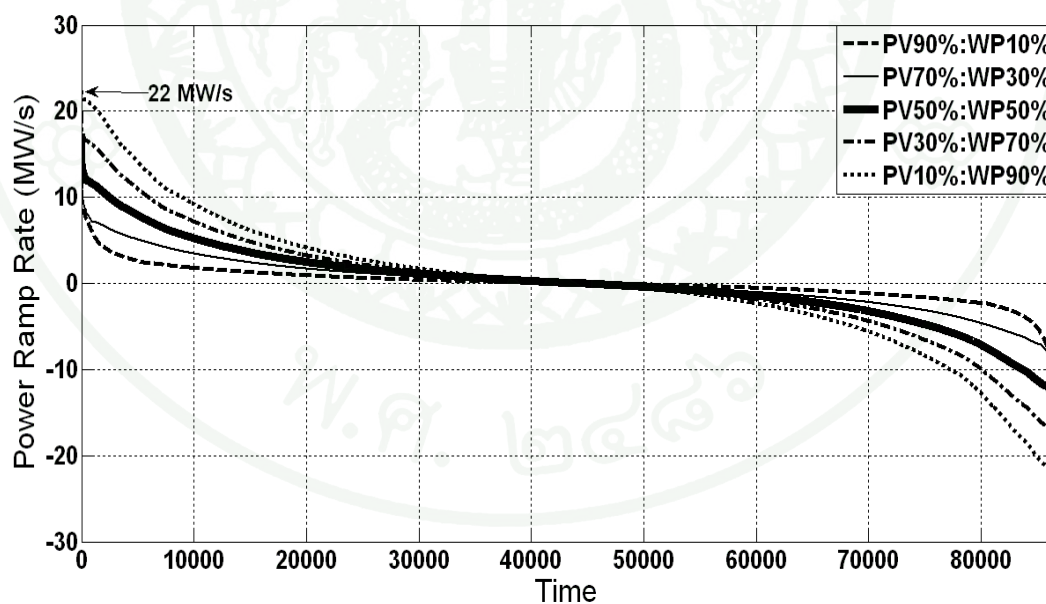
ภาพที่ 38 กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 50% และพลังงานลม 50%



ภาพที่ 39 กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 30% และพลังงานลม 70%



ภาพที่ 40 กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของระบบในช่วงเวลา 1 วัน ในสัดส่วนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 10% และพลังงานลม 90%



ภาพที่ 41 อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ควบคุมความถี่ในช่วงเวลา 1 วัน

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของอัตราการลาถียงขึ้น-ลง

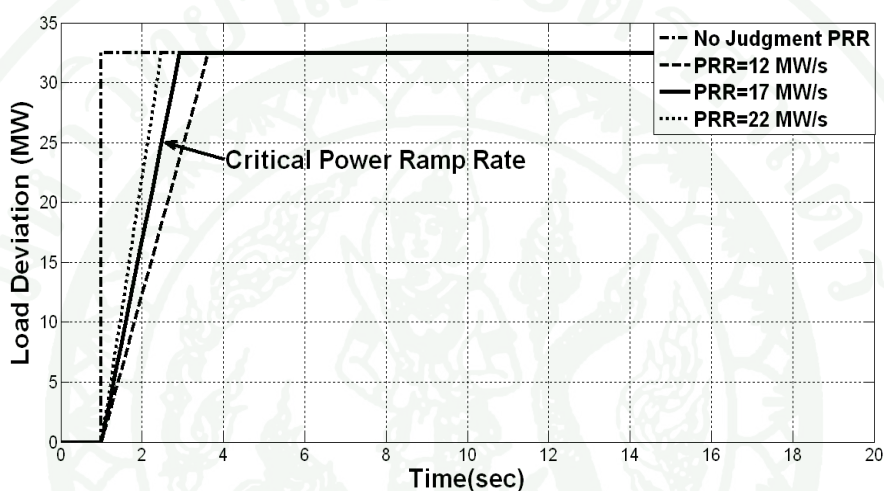
กรณี	อัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้า(MW/s)			
	อัตราการลาถียง ขึ้นเฉลี่ย	อัตราการลาถียง ขึ้นสูงสุด	อัตราการลาถียง ลงเฉลี่ย	อัตราการลาถียง ลงสูงสุด
1	1	12	-1	-12
2	2	15	-2	-15
3	3	17	-3	-17
4	4	20	-5	-20
5	6	22	-6	-22

จากภาพที่ 41 พบว่า ถ้ามีการเพิ่มสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานมากขึ้น 90% ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียน จะทำให้อัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 22 MW/s ในทางตรงกันข้ามถ้าสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม 10% ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียนจะทำให้อัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 12 MW/s อัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าจะส่งผลกระทบอย่างมากในกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อที่จะควบคุมความสมดุลระหว่างกำลังไฟฟ้าของโหลดและกำลังที่ผลิต

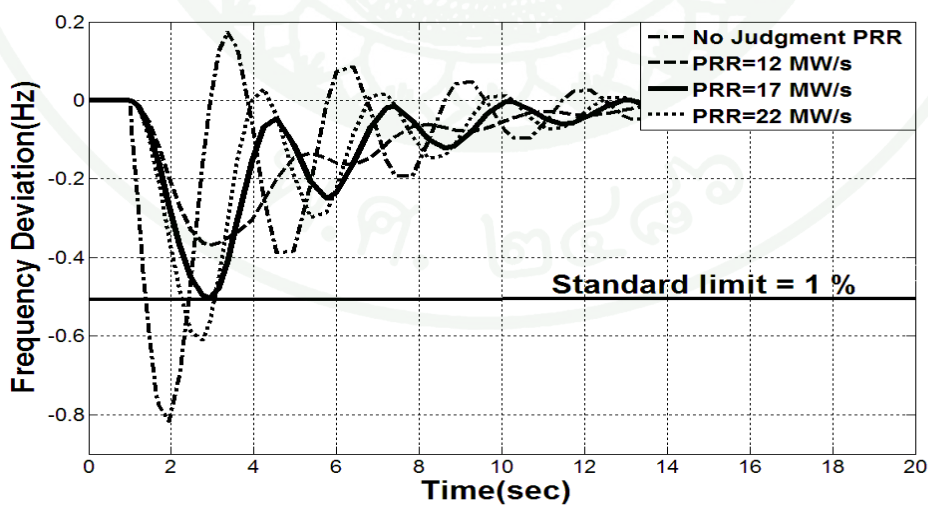
จากตารางที่ 4 พบว่าถ้าการเพิ่มขึ้นของปริมาณพลังงานทดแทน 25% ในสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงาน 10% และผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ 90% (กรณี 1) จะมีค่าอัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งอัตราการลาถียงขึ้นและอัตราการลาถียงลง เท่ากับ ± 12 MW/s เป็นค่าอัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าที่น้อยที่สุด และสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงาน 90% และผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ 10% (กรณี 5) จะมีค่าอัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งอัตราการลาถียงขึ้นและอัตราการลาถียงลง เท่ากับ ± 22 MW/s เป็นค่าอัตราการลาถียงกำลังไฟฟ้าที่มากที่สุด ในสัดส่วนของปริมาณพลังงานทดแทน 25% จากความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด

1. ผลกระทบของอัตราการลดเอียงกำลังไฟกับการควบคุมความถี่

จากข้อมูลในตารางที่ 4 ได้นำค่าของอัตราการลดเอียงกำลังไฟสูงสุดของกรณีที่ 1, 3 และ 5 มาพิจารณาผลกระทบกับระบบไมโครกริดที่มีความถี่ชิ่งโครน์ส 50 Hz โดยพิจารณาจาก (กองแผนงานระบบไฟฟ้า, 2553) ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบว่าอยู่ตามมาตรฐาน ($50\text{Hz} \pm 1\%$) ของระบบไฟฟ้ากำลังหรือไม่



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบขั้นบันไดและพิจารณาอัตราการลดเอียง



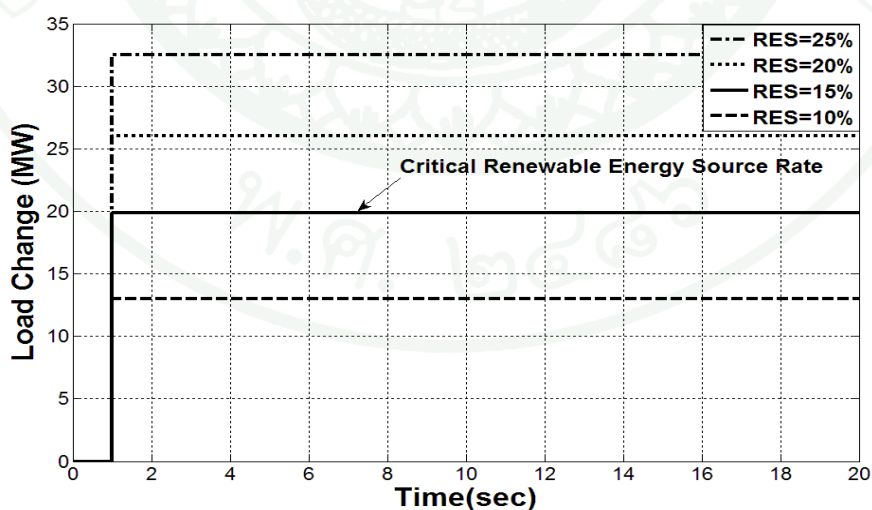
ภาพที่ 43 ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบแบบไม่พิจารณาและพิจารณาอัตราการลดเอียงกำลังไฟฟ้า

ในภาพที่ 42 สมมุติให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุด 32.5 MW แบบขั้นบันได (25% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด) ที่เวลา 1 วินาที และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโหลดในรูปแบบอัตราลาดเอียงต่างๆ พบว่า อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าวิกฤติ (Critical Power Ramp Rate) ซึ่งเป็นอัตราการลาดเอียงสูงสุดที่จะทำให้ระบบไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานความถี่ของระบบไฟฟ้า

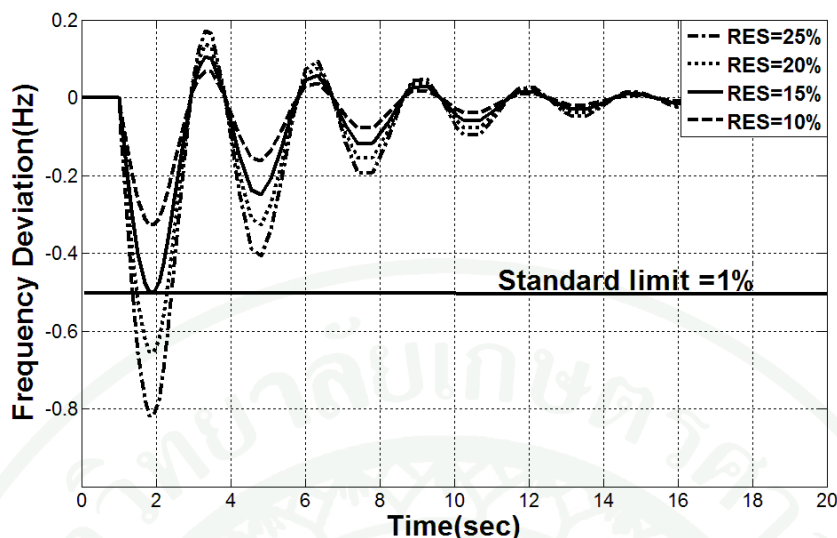
ผลการจำลองในภาพที่ 43 ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบ ที่มีค่าอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 17 MW/s ซึ่งเป็นระดับอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าวิกฤติของระบบ ทำให้ทราบว่าถ้ามีการเพิ่มสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานสูงขึ้น จะทำให้อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และจะทำให้ค่าขอบแรกของความถี่ตกลงไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความถี่ของระบบไฟฟ้า

2. ผลกระทบของสัดส่วนของพลังงานทดแทนกับการควบคุมความถี่

ภาพที่ 44 ได้มีลดสัดส่วนของพลังงานทดแทน โดยมีพลังงานทดแทนที่เข้ามาในระบบเป็น 20%, 15% และ 10% เพื่อที่จะหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยที่ไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงของโหลดเนื่องในสัดส่วนที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 45 ความเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบในปริมาณสัดส่วนพลังงานทดแทนต่างๆ

จากผลการจำลองในภาพที่ 45 แสดงให้เห็นว่าถ้าลดสัดส่วนของพลังงานทดแทนจาก 25% ลงเหลือ 15% จะทำให้ค่ายอดแรกของความถี่ตกลงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบได้ทำให้สามารถได้ข้อสรุปว่าถ้าพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมจะสามารถใช้พลังงานทดแทนได้ 25% โดยแบ่งเป็นสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังลม 12.5% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด (50% ของเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทน) และสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ 12.5% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด (50% ของเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทน) ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของแผนการพัฒนากำลังพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564) หรือ AEDP 2012 - 2021 ของกระทรวงพลังงานได้ และยังมียกเว้นอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 17 MW/s ซึ่งเป็นอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าวิกฤติ (Critical Power Ramp Rate) ถือเป็นอัตราการลาดเอียงสูงสุดที่จะทำให้ความถี่ของระบบไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า ($50\text{Hz} \pm 1\%$) (ธนเดช, 2555)

แต่กรณีที่มีการเพิ่มสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังลมมากขึ้น 22.5% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด (90% ของเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทน) จะทำให้อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 22 MW/s ทำให้ความเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบไฟฟ้าลดลงเกินเกณฑ์มาตรฐาน และถ้าไม่พิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งพลังงานทดแทนได้แค่ 15 % ของความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด ทำให้การใช้พลังงานทดแทนไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ ทั้งนี้หากต้องการให้ทั้งสองกรณีบรรลุเป้าหมาย อาจจะต้องมีการลงทุนติดตั้ง

อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเพิ่มเติม เพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบตเตอรี่มาเป็นอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงาน

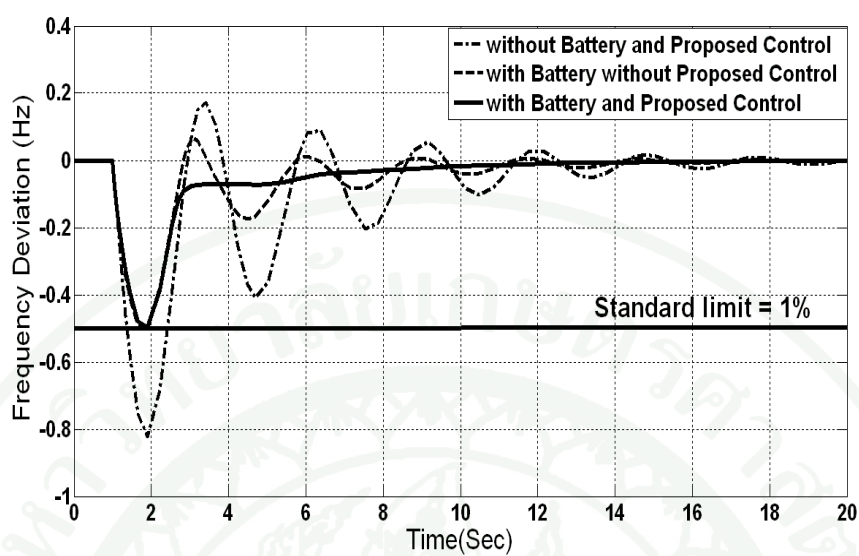
3. ผลกระทบของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่กับการควบคุมความถี่

จากที่มีการศึกษาผลกระทบของอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า (ชนเดช, 2555) พบว่าถ้าไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าและถ้าระบบมีอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 22 MW/s จะทำให้ความถี่ของระบบไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า ในงานวิจัยได้นำ 2 กรณีสมาใช้ในการประเมินหาขนาดกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ (MW) และขนาดพลังงานของแบตเตอรี่ (MJ) ของแบตเตอรี่เพื่อที่จะทำให้ความถี่กลับมาอยู่ในตามเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า

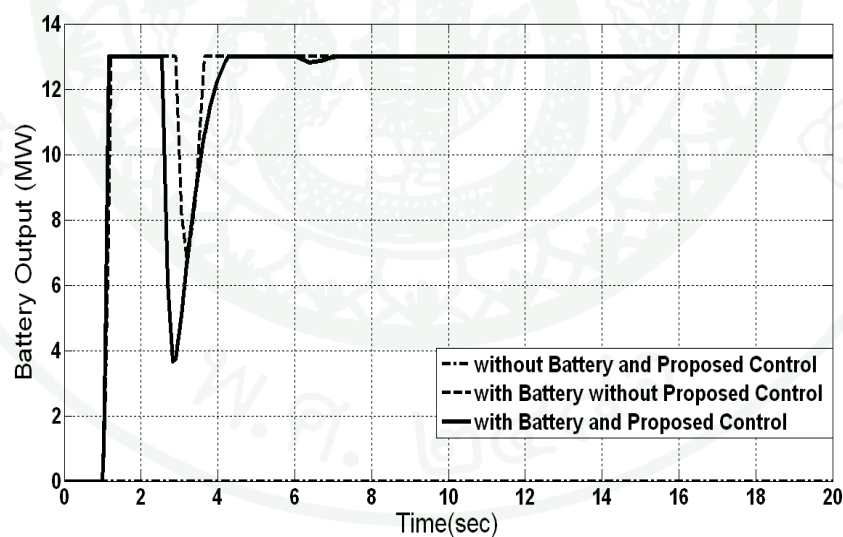
การวิเคราะห์นี้จะทำการแบ่งสภาวะการจำลองเป็น 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 แสดงถึงสภาวะที่ไม่มีติดตั้งระบบแบตเตอรี่และตัวควบคุม (without Battery and Proposed Control) สภาวะที่ 2 แสดงถึงสภาวะที่มีติดตั้งระบบแบตเตอรี่แต่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุมเข้าไปในระบบแบตเตอรี่ (with Battery without Proposed Control) และสภาวะที่ 3 แสดงถึงสภาวะที่มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่และมีตัวควบคุม (with Battery and Proposed Control) อยู่ด้วย โดยกำลังไฟฟ้าและพลังงานของแบตเตอรี่ที่จ่ายออกจากระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่จะถูกคำนวณหา โดยสมมุติว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานได้อย่างต่อเนื่องใน 20 วินาที

3.1 กรณีไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า

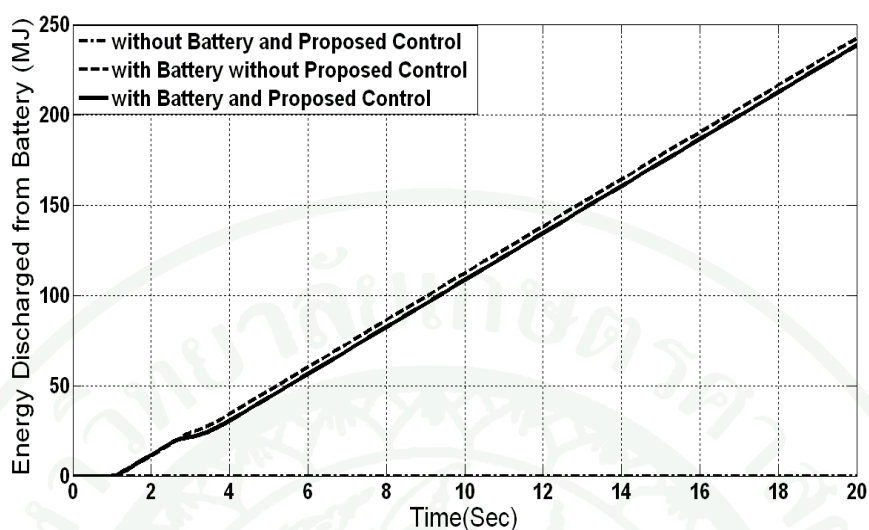
ผลการจำลองในภาพที่ 46 ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบในกรณีไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าของทั้ง 3 สภาวะ ซึ่งสภาวะที่ 2 มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ที่มีขนาดเท่ากับ 13 MW, 242.32 MJ ที่แสดงในภาพที่ 47 และภาพที่ 48 ส่วนในสภาวะที่ 3 มีการติดตั้งตัวควบคุมน้ำหนักตามหลัง ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ $K=0.671$, $T_1=1$ และ $T_2=0.378$ ก็จะทำให้ค่ายอดแรกของความถี่ตกลงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความถี่ของระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 46 ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบเมื่อไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่โดยไม่พิจารณาอัตราการลาถเคียงกำลังไฟฟ้า

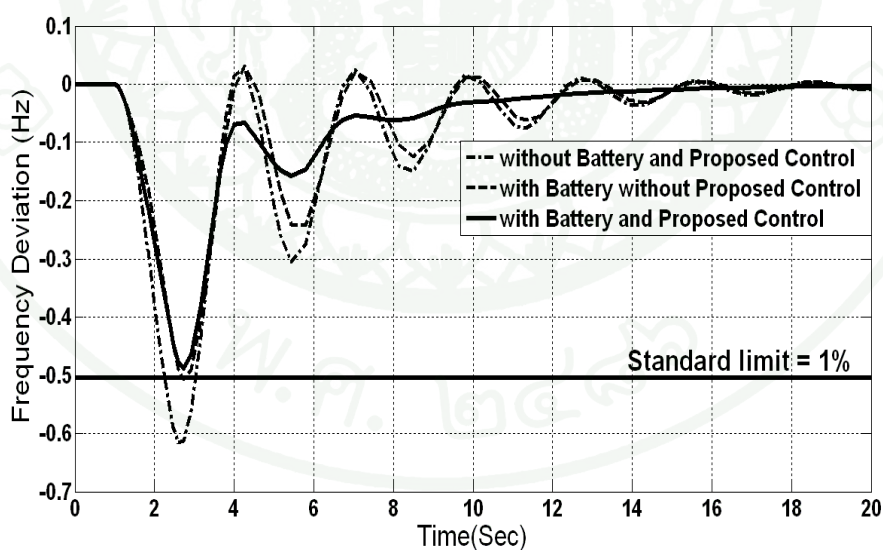


ภาพที่ 47 กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกรณีที่ไม่มี การพิจารณาอัตราการลาถเคียง

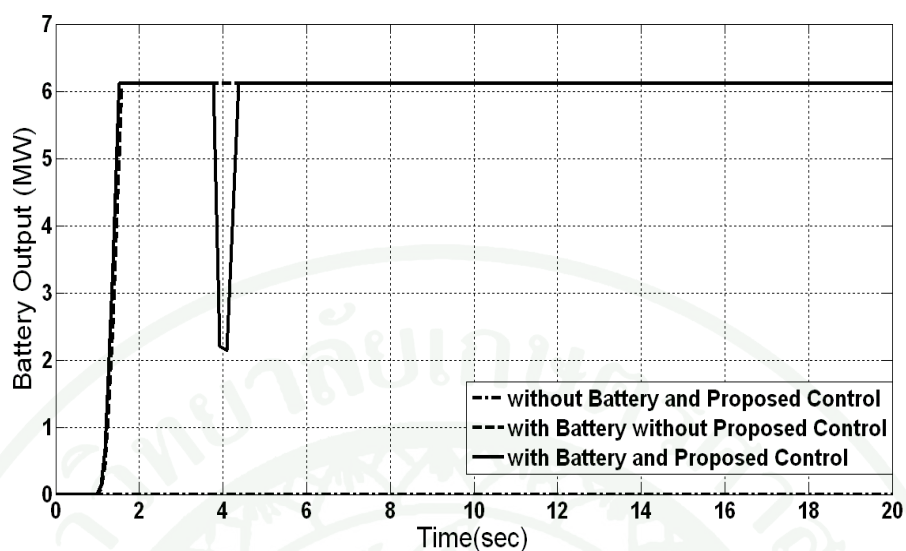


ภาพที่ 48 พลังงานที่ถูกคิสรจากรจากแบตเตอรี่ในกรณีที่ไม่มีการพิจารณาอัตราการลาตเียง

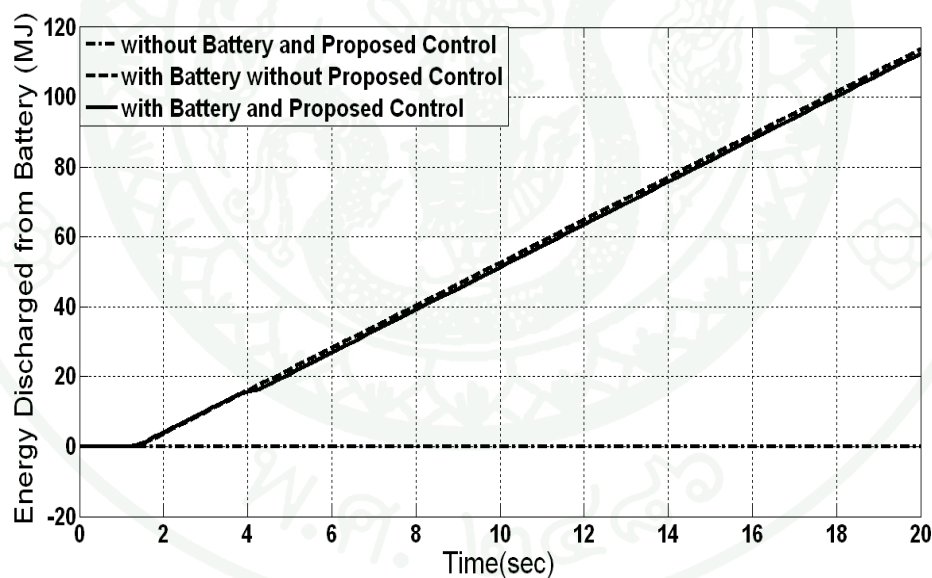
3.2 กรณีมีการพิจารณาอัตราการลาตเียงกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 49 ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบเมื่อไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่โดยพิจารณาอัตราการลาตเียงกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 50 กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเชิง



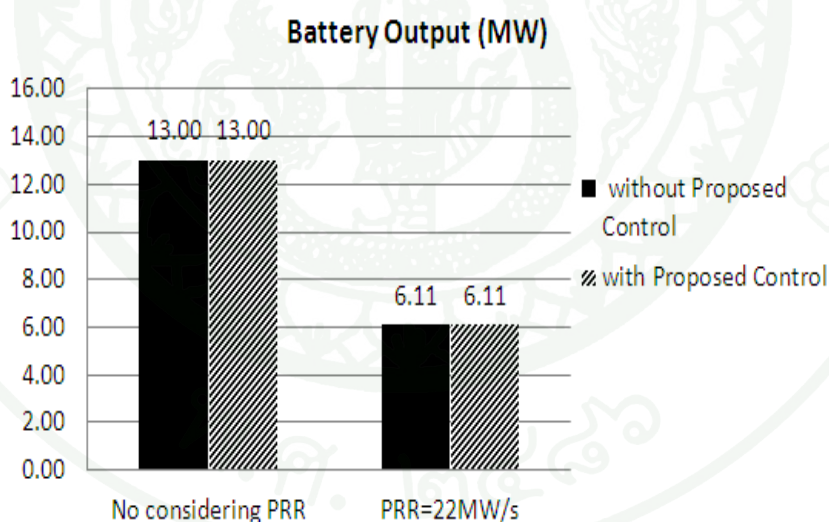
ภาพที่ 51 พลังงานที่ถูกดึงออกจากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเชิง

ผลการจำลองในภาพที่ 49 ความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบในกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเชิงกำลังไฟฟ้าของทั้ง 3 สถานะ ซึ่งสถานะที่ 2 มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ที่มีขนาดเท่ากับ 6.11 MW, 112.45 MJ ที่แสดงในภาพที่ 50 และภาพที่ 51 ส่วนในสถานะที่ 3 มีการติดตั้งตัวควบคุม

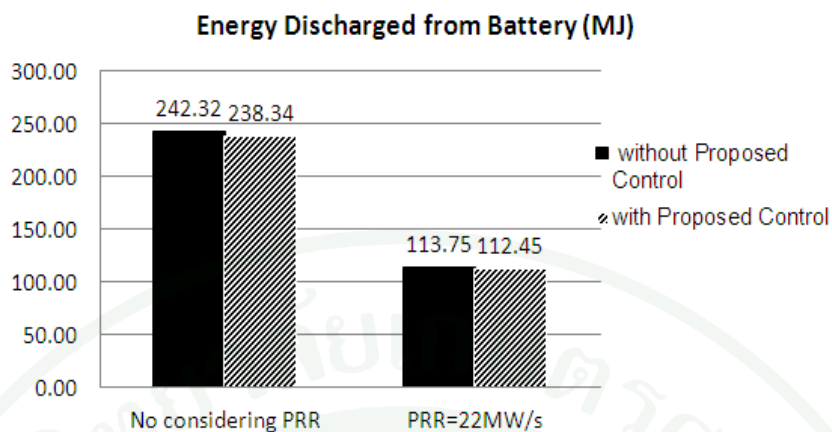
น้ำหนักหรือตามหลัง ก็จะทำให้ค่ายอดแรกของความถี่ตกลงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความถี่ของระบบไฟฟ้า

4. ขนาดของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่ใช้ในการควบคุมความถี่

ในภาพที่ 52 และ ภาพที่ 53 กำลังไฟฟ้าและพลังงานที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีและไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงซึ่งกรณีที่ไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียง ในกรณีที่มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่แต่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุม จะต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาดเท่ากับ 13 MW, 242.32 MJ และกรณีที่มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่และตัวควบคุมจะต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาดเท่ากับ 13 MW, 238.34 MJ แต่ถ้ามีการพิจารณาอัตราการลาดเอียง ในกรณีที่มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่แต่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุม จะต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาดเท่ากับ 6.11 MW, 113.75 MJ และกรณีที่มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่และตัวควบคุมจะต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาดเท่ากับ 6.11 MW, 112.45 MJ



ภาพที่ 52 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีและไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียง



ภาพที่ 53 พลังงานที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในกรณีที่มีและไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียง

จะเห็นได้ชัดว่าถ้ามีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงจะทำให้ขนาดกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์น้อยกว่าไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงถึง 53% ซึ่งการติดตั้งตัวควบคุมน้ำหนักน้ำ-ลำหลัง ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะมีหรือไม่ก็ได้ในระบบ แต่อย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมน้ำหนักน้ำ-ลำหลัง ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะสามารถลดการแกว่งของความถี่ของระบบได้มาก

วิจารณ์

ในการศึกษานี้ได้แบ่งการวิจารณ์เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ผลกระทบของอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้ากับการควบคุมความถี่

ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบ ที่มีค่าอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 17 MW/s เป็นระดับอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าวิกฤติของระบบ ซึ่งเป็นค่าแรกของอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าที่ทำให้ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า และทำให้ทราบว่าถ้ามีการเพิ่มสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังลมสูงขึ้น จะทำให้อัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่ายอดแรกของความถี่ตกลงไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความถี่ของระบบไฟฟ้า

2. ผลกระทบของสัดส่วนของพลังงานทดแทนกับการควบคุมความถี่

สัดส่วนที่เหมาะสมโดยที่ไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งพลังงานทดแทนได้แค่ 15% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ถ้ามีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า จะสามารถติดตั้งพลังงานทดแทนได้ 25% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยที่ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบยังเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของระบบไฟฟ้า

3. ผลกระทบของระบบสะสมพลังงานแบบแบตเตอรี่กับการควบคุมความถี่

จากผลการจำลองจะเห็นว่าขนาดกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ของกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าลดลง 53% และขนาดพลังงานของแบตเตอรี่ลดลง 53% ของกรณีไม่มีการพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้ในการควบคุมความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และถ้ามีการติดตั้งตัวควบคุมนำหน้า-ล่าหลังที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเข้าไปในระบบแบตเตอรี่ด้วย ก็จะทำให้สามารถลดการแกว่งของความเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบลงได้อย่างมาก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้วิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้าตามสัดส่วนของพลังงานทดแทนต่างๆ จากกรณีศึกษาพบว่า การพิจารณาอัตราการผลิตเอียงที่เหมาะสม จะสามารถติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทนได้ตามเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทน 25% ในปี 2564 แต่ถ้าไม่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้า จะสามารถติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทนได้เพียง 15% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งหมด

การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการผลิตเอียงที่ทำให้ความถี่ของระบบไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและกรณีที่ไม่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้า มาพิจารณาหาขนาดกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์และขนาดพลังงานของแบตเตอรี่ ซึ่งจากผลการจำลองจะเห็นว่าขนาดกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ของกรณีที่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 53% ของกรณีไม่มีการพิจารณาอัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้ในการควบคุมความถี่ของระบบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและถ้ามีการติดตั้งตัวควบคุมนำหน้า-ล่าหลัง ที่มีปรับค่าอย่างเหมาะสม ก็จะทำให้สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้อีกด้วยดังนั้นการพิจารณาอัตราการผลิตเอียงจากแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนจะมีประโยชน์เป็นอย่างมาก

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาระหว่างการดำเนินโครงการวิจัย และจากผลของการดำเนินโครงการทางคณะผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางที่คาดว่าจะประโยชน์ในการพัฒนาโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ทำการวิเคราะห์อัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม จากพิกัดอื่นหรือภูมิภาคอื่น เพื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการผลิตเอียงกำลังไฟฟ้าตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ
2. ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยง
3. พารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา เป็นค่าที่ได้มาจากการวิจัยที่เคยมีศึกษา ดังนั้นถ้าต้องการไปใช้กับระบบจริง จึงจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงของระบบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. 2554. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)**. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>,30 พฤศจิกายน 2554.

กองแผนงานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2553. **หลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้า: Power System Planning Criteria, PSPC**. สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2554. **การศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile)**. แหล่งที่มา: http://www.pea.co.th/th/loadprofile_t/show.php, มิถุนายน 2555

คูสิต เครื่องาม. 2542. **สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟลิคส์ เทคโนโลยีและการใช้งาน เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชนเดช ไพรธรม, คมสันต์ หงษ์สมบัติ และ ชศวีร์ วีระกำแหง. 2555. การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทน, น.235-238. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 (EECON-35), มหาวิทยาลัยกรุงเทพและศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.

สุชาติ จันทรจรมานิตย์. 2555. **ระบบควบคุม**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ลำปาง.

อิสระชัย งามหฐ. 2554. **พลศาสตร์และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). มีนเชอร์วิส ชัพพลาย, กรุงเทพฯ.

เอกกนก กล่อมจิต. 2553. **พลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยภายใต้วิกฤตการณ์โลกร้อน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allen, J.W. and F.W.Bruce. 1996. **Power Generation Operation and Control**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Arita, M. , A. Yokoyama and Y. Tada. 2006. Evaluation of battery system for frequency control in interconnected power system with a large penetration of wind power generation, pp.1-7. *In IEEE International Conference on Power System Technology 2006 (PowerCon 2006)*.

Boyle, G. 1998. **Renewable Energy power for sustainable future**. 2nd ed. BPC Wheatons Ltd.,United Kingdom.

Bradford, K.T., R.L. Carpenter and B.L. Shaw. 2010. Forecasting southern plains wind ramp events using the WRF model at 3-km. *In Proc. of the AMS Student Conference*.

Cutler, N., M. Kay, H. Outhred and I. MacGill. 2007a. High-risk scenarios for wind power forecasting in Australia. *In Proc. of the European Wind Energy Conference and Exhibition 2007 (EWEC 2007)*. Milan, Italy.

Cutler, N., M. Kay, K. Jacka and T.S. Nielsen. 2007b. Detecting, categorizing and forecasting large ramps in wind farm power output using meteorological observations and WPPT pp.453-470. **Wind Energy, vol. 10**.

Ferreira, C., J. Gama, L. Matias, A. Botterud and J. Wang. 2010. **A survey on wind power ramp forecasting**. Institute for Systems and Computer Engineering of Porto L.A. (INESC Porto L.A.). Porto, Portugal.

German Solar Energy Society. 2008. **Planning and Installing Photovoltaic system 2nd Edition**. Eathscan. UK.

Greaves, B., J. Collins, J. Parkes and A. Tindal. 2009. Temporal forecast uncertainty for ramp events. *In Proceedings of the European Wind Energy Conference and Exhibition 2009 (EWEC 2009)*. Marseille, France.

Green energy Green home Inc. 2011. **Solar Photovoltaic System**. Available Source: <http://www.greenenergygreenhome.com/solar-photovoltaic-system>, January 8, 2011.

Hill, C. 2011. Development of a Real-Time Testing Environment for Battery Energy Storage Systems in Renewable Energy Applications, pp1-8. in Proc. IEEE International Conference on Power Tech.

Hwang, M.Y. 2011. Prediction of Wind Power Generation and Power Ramp Rate with Time Series Analysis, pp.512-515. **IEEE International Conference on Power Tech.** Wisconsin.

International Energy Agency Report. 2010. **Modeling Load Shifting Using Electric Vehicles in a Smart Grid**. 71.

Louis, S.V. 1993. **Automatic Generation Control**. n.p.

Masuta, T. and A. Yokoyama. 2012. Supplementary load frequency control by use of a number of both electric vehicles and heat pump water heaters, pp. 1253-1262. **IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 3**.

Parker, C. D. and J. Garche. 2004. **Battery Energy-Storage Systems for Power Supply Networks**, pp. 295-326. in Valve-Regulated Lead Acid Batteries. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Rerkpreedapong, D. 2003. **Novel Control Design and Strategy for Load Frequency Control in Restructured Power Systems**. Ph.D. Thesis, West Virginia University.

Yates, T. 2003. **Solar Cells in Concentrating Systems and their High Temperature Limitations.** University of California, Santa Cruz.





ภาคผนวก



Evaluation of Battery Energy Storage System for Frequency Control in Microgrid System

K. Hongesombut¹, T. Piroon², Y. Weerakamaeng³

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Phaholyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand. Tel. 0-2797-0999 Ext. 1577

E-Mail: ¹fengksh@ku.ac.th, ²cresendo@hotmail.com, ³fengyvw@ku.ac.th

Abstract— Smart grid is a driving force for the development associated with renewable technologies. The use of renewable energy sources for electricity production has been increasingly brought into attention. Basically, the power generated from these sources may cause the fluctuation of the electrical power affecting the quality and reliability of the power system. Therefore, the proportion of electrical power generated by renewable energy sources into the power grid must be controlled appropriately. The appropriate ratio of the renewable power generation can be evaluated from the Power Ramp Rate (PRR). The value of PRR that initiates the power system to become unstable is called the critical PRR. In this paper, to find the minimal required energy for frequency stabilization from the battery system, PRR is considered in the evaluation. The simulation results demonstrate that PPR is very useful index in determining the appropriate size of power and energy of the battery system to keep the frequency deviation of the power system within the standard limit.

Keywords— Battery System, Frequency Control, Power Ramp Rate, Renewable Energy Resources, Microgrid System

I. INTRODUCTION

Recently, the use of renewable energy sources for electricity production has been increasingly brought into attention. This is due to the smart grid that is becoming a driving force for the development associated with renewable technologies. When the generation of the electrical power system includes the renewable power sources, controlling the fluctuation of power in the power system must be taken into consideration carefully due to their power generation characteristics of renewable power sources. Typically, the change of electrical power from these renewable power sources can be evaluated from Power Ramp Rate (PRR). Moreover, PRR can be used to control the fluctuation of electrical power in the power grid. There are two types of PRR: upward and downward ramps. If the power system possesses the upward ramp that might be due to the drastic change of climate such as the storm, it means there is additional power fed into the power system from the renewable power sources. On the other hand, if the power system behaves in such a way of the downward ramp that might be the day full of cloud, it means there is the lack of the generated power from the renewable power sources [1].

This paper is divided into seven parts. First, it begins with the introduction. Secondly, it describes the configuration of the study microgrid system. Thirdly, the PPR used in this study is defined. Section IV describes modelling of the study battery storage system. Section V describes the controller design methodology of the battery energy storage system. Section VI demonstrates the simulation results under different conditions. Comprehensive studies are made by comparing the simulations results to reveal the potential changes in performance due to the adoption of the PPR for designing the battery storage system. Finally, conclusions are drawn in section VII.

II. THE STUDY MICROGRID SYSTEM

The microgrid system used in this study is shown in Fig. 1. The microgrid system is composed of the frequency-controllable generator, the energy storage battery, the wind farms, the solar farms and the cluster of loads. The power demand of the loads in the simulated microgrid system is the load profile data obtained from the Provincial Electricity Authority. The peak power demand is assumed to be 130 MW and the amount of renewable power injected into the microgrid system is up to 25% of the total power demand.

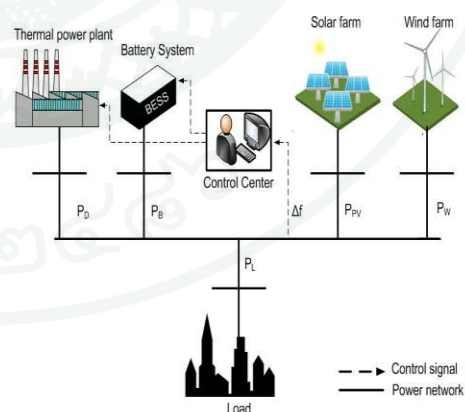


Fig. 1 The study microgrid system.

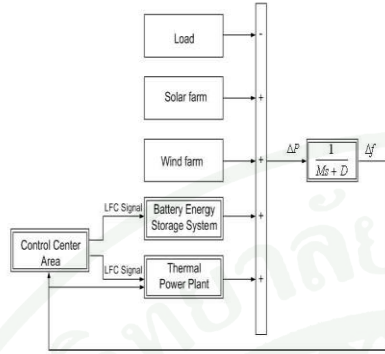


Fig. 2. The simulated microgrid system.

Fig. 2 shows the simulated microgrid system used in this study [2]. The power demand of the cluster of loads is formulated from the load profile data obtained from Provincial Electricity Authority (PEA). In this study, the existence of the renewable power sources in the power system is set as 25% of the total power demand. The proportions between the solar power sources and the wind power sources are varied to find the appropriate ratio to the power system.

III. PPR CALCULATION

The PPR occurs when there is the rapid change of power amplitude in the power system. This situation may bring difficulties in the frequency control of the power system [3-6]. From Fig. 3, the power from the frequency-controllable generator (P_D) comes from the difference between the load power (P_L) and the power generated from the wind (P_W) and from solar (P_{PV}) in different proportion at the specified duration. The PPR can be calculated as follows:

$$PPR = \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

IV. BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

The simulation model of the battery energy storage system is shown in Fig. 3. The controller of the battery energy storage is the lead-lag compensator. The battery is modelled as the first-order transfer function with the time constant T_b . The charge and discharge efficiency of the battery is set to 80%. The state of charge (SOC) is decreased proportional to the duration of distributed power. When receiving the LFC signal as the charging signal, the power of battery is discharged at the same frequency and magnitude into the microgrid system [8-9].

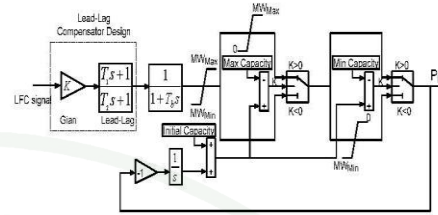


Fig. 3. The simulation model of the battery energy storage system.

V. THE CONTROLLER DESIGN OF THE BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

In order to find the appropriate parameters of K , T_1 and T_2 of the controller shown in Fig. 3, the lead-lag controller is optimally tuned by GA. The objective function is to minimize the frequency deviation back to the standard level. The objective function can be mathematically formulated as:

$$\text{Min } J = \int_0^t \Delta f^2 dt \quad (2)$$

Subject to

$$\begin{aligned} 0 &\leq K \leq 10, \\ 0 &\leq T_1, T_2 \leq 1. \end{aligned}$$

VI. SIMULATION RESULTS

A. Effect of the PRR on the Frequency Regulation

The renewable power sources consist of the solar power source and the wind power source. In order to determine the appropriate ratio for the whole microgrid system, the electrical power generated by renewable power sources is injected into the microgrid system with different proportions as shown in Table I. Fig. 4 shows an example of the power profile from various sources during a day with the ratio of renewable power sources of 25%.

TABLE I
THE RATIO OF RENEWABLE POWER SOURCES INSTALLED IN THE MICROGRID

Case	The renewable power demand 32.5 MW (25% of the total power demand)	
	Solar power source	Wind power source
1	29.25MW (90%)	3.25MW (10%)
2	22.75MW (70%)	9.75MW (30%)
3	16.25MW (50%)	16.25MW (50%)
4	9.75 MW (30%)	22.75MW (70%)
5	3.25MW (10%)	29.25MW (90%)

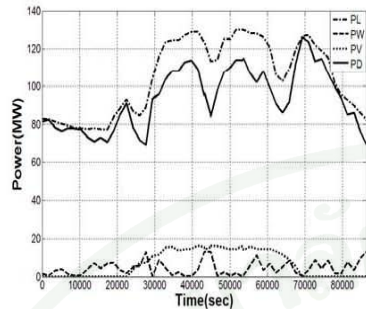


Fig. 4 The power from various sources during a day with the ratio of energy from the renewable power sources of 25%.

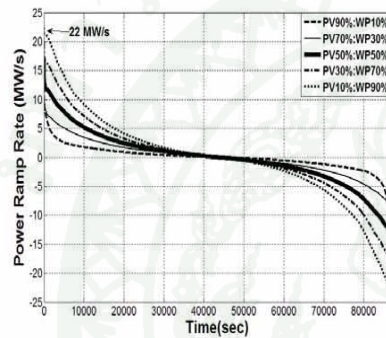


Fig. 5 The PRR of the renewable power sources used to control the frequency during a day.

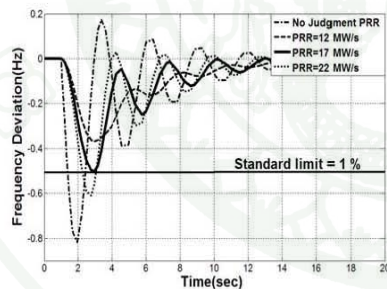


Fig. 6 The frequency deviation of the power system in case without the PRR consideration and with different PRR considerations.

With different proportions of the renewable power sources according to the data in Table 1, the power profile, such as shown in Fig. 4, can be obtained. Then, the PRR is calculated by (1). The calculated PRR of the generator used to control the frequency during a day is shown in Fig. 5. It can be concluded that if there is the addition of electrical power from the wind power source up to 90% of the renewable power usage target, the maximum PRR is 22 MW/s. The effect of the

PRR on the frequency deviation is shown in Fig. 6. The maximum PRR of Case 1, Case 3 and Case 5 according to the study cases in Table I are considered with the nominal frequency of 50 Hz. From the simulation results, it is found that the case without considering the PRR and the case of the maximum PRR of 22 MW/s, the frequency deviation of the power system does not follow the standard. To keep the frequency deviation in the standard range, the installed renewable power sources must be reduced to 15% of the total power demand. This makes the utilization of the renewable power sources unable to satisfy the installed target. In addition, the critical PRR is 17 MW/s as indicated in Fig. 6.

B. Effect of the Battery Energy Storage System on the Frequency Regulation

The battery energy storage system can be used to keep the frequency deviation in the standard range without reducing the installed renewable power sources. The battery energy storage system can deliver or absorb the energy from the power system in order to damp the frequency oscillations. The optimal parameters of the lead-lag controller can be tuned by GA. The optimal parameters of the controller are: $K=0.671$, $T_1=1$ and $T_2=0.378$. To evaluate the requirements of the battery energy storage system for the frequency regulation, the simulation results are carried out for two cases as follows:

Case 1: Without the PRR consideration

There are 3 sub-cases are considered: (1) without the battery and any controller, (2) with the battery but without the proposed controller, and (3) with the battery and with the proposed controller. The simulations are carried out for 3 sub-cases to evaluate the power of inverter (MW) and the energy of the battery system (MJ) used to recover the frequency back to the standard range. Fig. 7 shows the effect of the battery energy storage system in case of with and without the proposed controller. It can be seen that the battery energy storage system with the proposed controller can effectively damp the frequency oscillations.

Case 2: With the PRR consideration

The similar results can be obtained in Fig. 8 but with the PRR consideration.

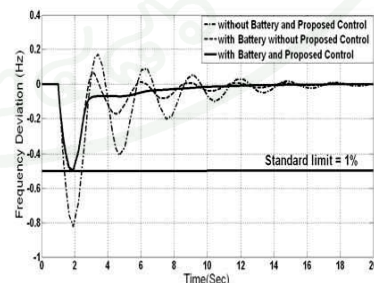


Fig. 7 The frequency deviation of the power system of Case 1.

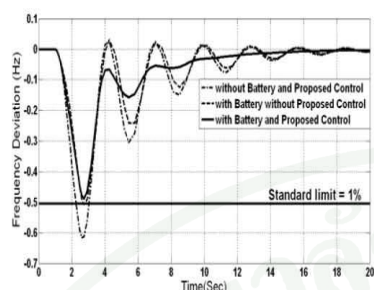


Fig. 8 The frequency deviation of the power system of Case 2.

C. Size of the Battery Energy Storage System on the Frequency Regulation

The battery power output and energy discharged from the battery energy storage system are calculated. It is assumed that the battery should continuously supply the energy for 20 seconds. Fig. 9 and Fig. 10 show that the case of with the battery but without the proposed controller needs the installation of the battery with the rating of 13 MW and 242.32 MJ and the case of with the battery and with the proposed controller needs the installation of the battery with rating of 13 MW, 238.34 MJ.

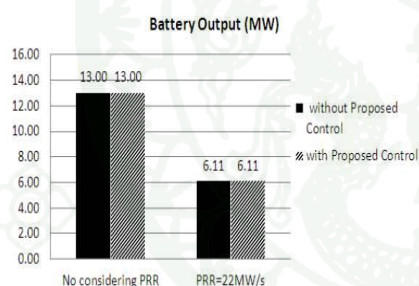


Fig. 9 The power delivered from the battery energy storage system in case of with and without the PRR consideration.

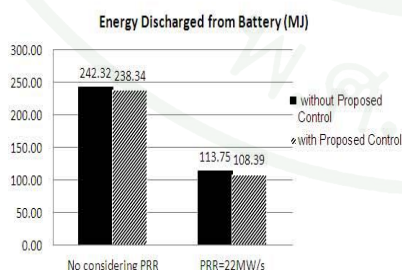


Fig. 10 The energy discharged from the battery energy storage system in case of with and without the PRR consideration.

It is obvious that with the PRR consideration, the power rate of inverter can be reduced to 53 % less than the case without the PRR consideration no matter there exists the optimally tuned lead-lag controller or not in the power system. However, the optimally tuned lead-lag controller can improve the damping of frequency oscillations.

VII. CONCLUSIONS

The frequency regulation in the microgrid system is analyzed by considering the cases with and without the PRR consideration. From the simulations, it is seen that the power rate of inverter and the energy rate of the battery necessary for controlling the frequency to be within the standard range can be reduced when considering the PRR. In addition, with the optimally tuned lead-lag controller in the power system, the frequency oscillation is also reduced. Therefore, with the PRR consideration, it is very useful for obtaining the appropriate ratio from the renewable power sources added to the power system and can be used for the calculations of the power and energy rates of the battery that are efficient to control the frequency in the power system.

REFERENCES

- [1] C. Ferreira et al., "A survey on wind power ramp forecasting", Institute for Systems and Computer Engineering of Porto L.A. (INESC Porto L.A.), Porto, Portugal, 2010.
- [2] T. Priroon, K. Hongesombut and Y. Weerakamaeng, "Analysis of frequency regulation in microgrid system considering power ramp rate of renewable energy", Proc. of the 35th Electrical Engineering Conference (EECON 35), 2012.
- [3] B. Greaves, J. Collins, J. Parkes, and A. Tindal, "Temporal forecast uncertainty for ramp events", Proc. of the European Wind Energy Conference and Exhibition 2009 (EWEC 2009), Marseille, France, 2009.
- [4] N. Cutler, M. Kay, H. Outhred, and I. McGill, "High-risk scenarios for wind power forecasting in Australia", Proc. of the European Wind Energy Conference and Exhibition 2007 (EWEC 2007), Milan, Italy, 2007.
- [5] N. Cutler, K. Jacka, and T. S. Nielsen and M. Kay, "Detecting, categorizing, and forecasting large ramps in wind farm power output using meteorological observations and WPPT", Wind Energy, vol. 10, pp. 453-470, 2007.
- [6] K.T. Bradford, R.L. Carpenter, and B.L. Shaw, "Forecasting southern plains wind ramp events using the WRF model at 3-km", Proc. of the AMS Student Conference, 2010.
- [7] Mi Yeong Hwang et al., "Prediction of wind power generation and power ramp rate with time series analysis", IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), pp. 512-515, Sep. 2011.
- [8] T. Masuta and A. Yokoyama, "Supplementary load frequency control by use of a number of both electric vehicles and heat pump water heaters", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 3, no. 3, pp. 1253-1262, Sep. 2012.
- [9] M. Arita, A. Yokoyama and Y. Tada, "Evaluation of battery system for frequency control in interconnected power system with a large penetration of wind power generation", IEEE International Conference on Power System Technology 2006 (PowerCon 2006), pp. 1-7, 2006.

POWER RAMP RATE OF WIND AND SOLAR FARMS ON FREQUENCY REGULATION IN MICROGRID SYSTEM

T. Priroon K. Hongesombut Y. Weerakamaeng

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
50 Phaholyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand. Tel. 0-2797-0999 Ext. 1577

E-Mail : crescendo_@hotmail.com, fengksh@ku.ac.th, fengyww@ku.ac.th

ABSTRACT

Solar and wind energy sources are becoming popular in power electric generation. However, these sources of energy are prone to experience the sudden change of the atmosphere which makes an unbalance between the demand and supply of electric power system that can make the load frequency control (LFC) much more complicated. In this paper, we analyze the power ramp rate (PRR), when there is the availability of renewable energy from wind and solar system at different proportion based upon the frequency deviation of the system. Finally, we estimate power and energy rated for energy storage system.

Keywords: Load frequency control, Microgrid, Power ramp rate, Renewable energy

1. INTRODUCTION

Referring to the Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021, the target is to use the energy from the renewable energy source as 25% of the total energy. The provisional supplying energy from solar energy source is expected to be 2,000 MW in 2021 which nowadays is at 75.48MW. This means that there will be 96.2% incremental in energy coming from the solar energy source in the future. In the similar manner, it is expected to have full capacity of the wind energy source of 1,200 MW which presently is at 7.28 MW. This means that there will be 99.4% incremental in energy coming from the wind energy source in the future. The large amount of incremental energy from the renewable energy source may impact the frequency in the system. The variation of frequency beyond the standard limit may cause the blackout in power system by cascading tripping of generators. This paper studies the ratio of energy from the renewable energy source that is increasing in the future and the effect to the frequency in the electrical power system.

2. MICROGRID SYSTEM IN THE STUDY

The microgrid system in this study is shown in Fig.1. The microgrid system consists of the LFC generator, wind farm, solar farm, and the small-clustered loads.

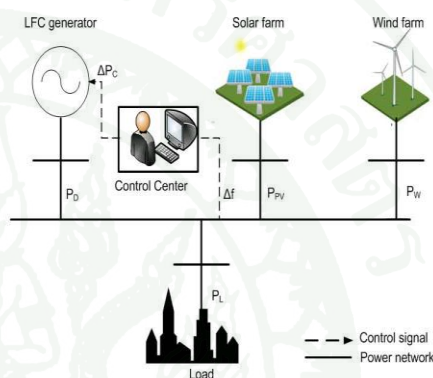


Fig.1 The microgrid system

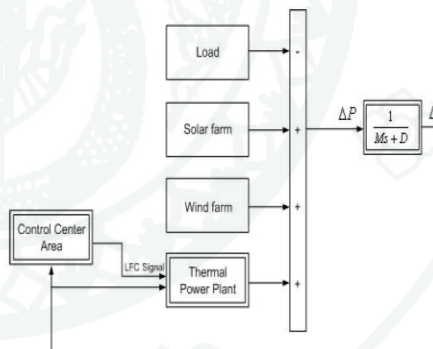


Fig.2 The simulated microgrid system

Fig.2 shows the simulated microgrid system. During the simulation, the load power, which is the data gained from the PEA's load profile in July 2011, is assumed to be 130 MW. There is also the assumption of available energy from the renewable energy source as 25% of the total energy. Table 1 displays the ratio of the renewable energy in the microgrid system. The renewable energy sources are arranged into two systems; the solar energy source, and the wind energy source in order to determine the appropriate ratio for the whole system. [1-2]

Table.1 The ratio of the renewable energy in the microgrid system

Case	The renewable energy demand 32.5 MW (25% of the total energy demand)	
	Solar energy source	Wind energy source
1	29.25MW (90%)	3.25MW (10%)
2	22.75MW (70%)	9.75MW (30%)
3	16.25MW (50%)	16.25MW (50%)
4	9.75 MW (30%)	22.75MW (70%)
5	3.25MW (10%)	29.25MW (90%)

Then, we need to calculate the power required from the LFC generator for controlling the frequency of microgrid as in equation (1).

$$P_D = P_L - P_W - P_{PV} \quad (1)$$

When P_D is the power required from the frequency-controllable generator, P_L is the power of loads in the system, P_W is the power produced from the wind energy source, P_{PV} is the power produced from the solar energy source.

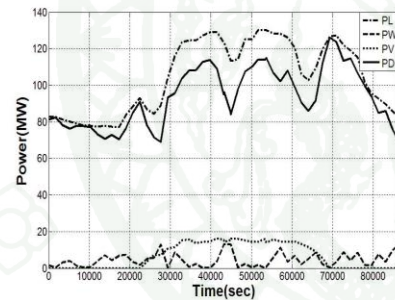


Fig.3 Power in various units during a day with the ratio of energy from the renewable energy of 25%

Fig. 3 depicts electrical power in various units during a day which is the power required by loads in the system, power produced from the wind energy source, power produced from the solar energy source and power from the LFC generator. The percentage of power from the renewable energy is 32.5 MW (25% of the total system) which can be classified as the power from the solar energy source of 16.25 MW (12.5%) and the power from the wind energy source of 16.25 MW (12.5%) of the power demand of the whole system.

3. POWER RAMP RATE

The amount of power from the LFC generator is derived from the difference between the load power and the power from the wind and solar energy sources at various ratios. The sudden increment or decrement of

power is called the Power Ramp Rate (PRR). The equation of PRR can be written as equation (2). [3]

$$PRR = \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} \quad (2)$$

Where PRR is the Power Ramp Rate (MW/s), $P(t + \Delta t)$ is the power required at time $t + \Delta t$ (MW), $P(t)$ is the power required at time t (MW), Δt is the specific duration (s).

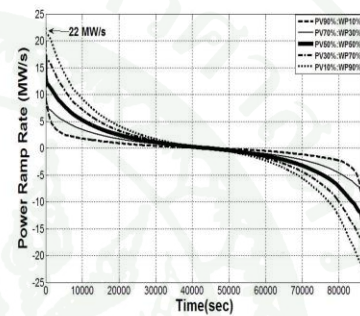


Fig.4 Power ramp rate of LFC generator during a day

From Fig.4, we found that if there is the increment of energy from the wind energy source to 90% of the energy from the renewable energy sources, maximum PRR will be 22 MW/s. On the other hand, if there is only 10% of energy from the wind energy source, maximum PRR will be 12 MW/s. Maximum PRR has great influence on balancing the supplied and load power.

Table 2 Average and maximum of ramp up-down rate

Case	Power Ramp Rate (MW/s)			
	Average ramp up rate	Maximum ramp up rate	Average ramp down rate	Maximum ramp down rate
1	1	12	-1	-12
2	2	15	-2	-15
3	3	17	-3	-17
4	4	20	-5	-20
5	6	22	-6	-22

Table 2 shows that if there is 25% incremental energy from the renewable energy source which comes from the wind energy source of 10% and from the solar energy source of 90% (case 1), both maximum ramp up rate and maximum ramp down rate will be ± 12 MW/s which is the minimum PRR. If the energy is from the wind energy source of 90% and from the solar energy source of 10% (case 5), both maximum ramp up rate and maximum ramp down rate will be ± 22 MW/s which is the maximum PRR when considering the energy from the renewable energy sources as 25% of the total power demand.

4. SIMULATION RESULTS

4.1 Effects of PRR

From Table 2, we chose case 1, 3, and 5 to consider the impact of PRR to the frequency of the microgrid having the synchronous frequency of 50Hz by considering the deviation of frequency whether it is within the standard range (50Hz±1%) of the power system or not.[4]

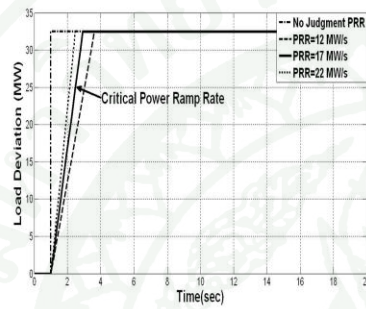


Fig. 5 Step changes of load and PRR consideration

In Fig.5 we assume that there is a step change of load to 32.5 MW (25% of the total power demand) at $t = 1$ second and load change in term of various PRRs. We can determine the Critical Power Ramp Rate (CPRR) that begins to deviate the frequency from the standard range.

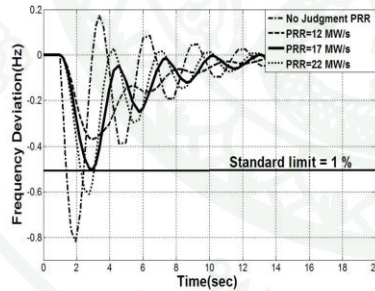


Fig. 6 Deviation of frequency in the system without and with PRR consideration

From Fig. 6, the simulation results, with PRR of 17 MW/s which is CPRR, illustrate that if there is the increment of the energy from the wind energy source, PRR is increased and the first peak of frequency is out of the standard range.

4.2 Effects of the ratio of energy from the renewable energy

The ratio of energy from the renewable energy is adjusted to various values; 25%, 20%, 15% and 10% to determine the proper ratio without considering PRR.

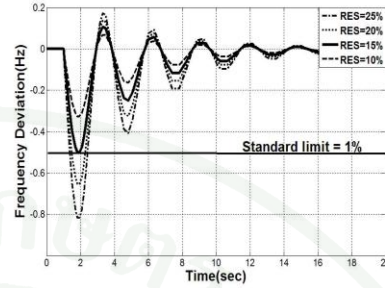


Fig. 7 The deviation of frequency in the system for various ratios of the energy from the renewable energy sources

From simulation shown in Fig. 7, it reveals that if the ratio of the renewable energy is decreased from 25% to 15%, the first peak of frequency will move into the standard range. This means that if we consider the suitable PRR, we can use the renewable energy of 25% complying with the target of the renewable energy plan in 2021. However, without considering PRR, we can use the renewable energy of only 15% which is not as the target of the plan. In order to achieve the target, we may need to install additional energy storage elements that require more expense.

4.3 The suitable variation of power and energy for the energy storage elements when considering PRR

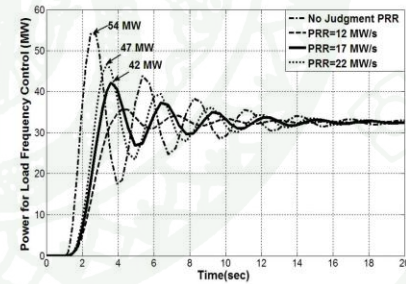


Fig. 8 The power for controlling the frequency in the system

The calculation of the maximum power for compensation and the suitable energy of the energy storage which still preserve the frequency to be in the standard range can be shown as equation (3)-(4)

$$\Delta P = \Delta P_{\max 1} - \Delta P_{\max 2} \quad (3)$$

$$\Delta E = \Delta E_{\max 1} - \Delta E_{\max 2} \quad (4)$$

Where ΔP is the maximum power for compensation $\Delta P_{\max 1}$, is the maximum power of the LFC generator for controlling frequency over the standard range, $\Delta P_{\max 2}$ is the maximum power of the LFC generator for controlling frequency within the

standard range, ΔE is the maximum energy for compensation, $\Delta E_{\max,1}$ is the energy for controlling the frequency over the standard range, $\Delta E_{\max,2}$ is the energy for controlling the frequency within the standard range.

From Fig.8, without considering PRR, we need to provide maximum power for compensation of 12 MW and the energy of 30.42 MJ, whereas when considering PRR of 22MW/s, we provide maximum power for compensation of only 5 MW and the energy of 7.28 MJ. It means that with the proper value of PRR, the size of energy storage elements can be considerably reduced.

5. CONCLUSIONS

This paper presents the analysis of frequency control in the microgrid system by considering PRR with different ratios of the renewable energy. Taking into account the suitable PRR, it is possible to install and use energy from the renewable energy as 25% as the target plan in 2021. However, without considering PRR, we can use only 15% of the total power demand as the energy from the renewable energy source. In addition, this research also demonstrates the rated power and energy calculations in order to use the calculated results in selecting the appropriate size of the energy storage elements which are used to control the frequency of the system to be within the standard.

6. APPENDIX

6.1 Wind power model

The probability density distribution is well simulated with the Weibull distribution, expressed as:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} \quad (A.1)$$

where k is a profile coefficient, c is a scale coefficient, and V is the wind speed. When $k=2$, then the distribution $f(V)$ is a Rayleigh distribution:

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{\bar{V}^2} \right) e^{-\left(\frac{\pi V^2}{4 \bar{V}^2} \right)} \quad (A.2)$$

where $\bar{V}$ is the average wind speed. In this paper, the Rayleigh distribution is used to represent the distribution of the wind speed. The function is expressed as an integrated equation:

$$F(V) = \int_0^V f(V) dV = 1 - e^{-\left(\frac{\pi V^2}{4 \bar{V}^2} \right)} \quad (A.3)$$

Since V is changed from 0 to 1, with a uniform random number X , the random number V , which obeys to the Rayleigh distribution, is given as:

$$V = \frac{\sqrt{2V}}{\sqrt{\pi}} (-\ln(1-X))^{0.5} \quad (A.4)$$

Where P_w is the output of the wind power A is the cross-sectional area of the individual wind turbine, ρ is the density of the air, C_w is the efficiency, R is the radius of the wind turbine, and V is the wind speed.

$$P_w = \frac{C_w \rho A}{2} V^3 = \frac{C_w \rho \pi R^2}{2} V^3 \quad (A.5)$$

6.2 Photovoltaic model

The following empirical model is developed based on actual PV operation as shown in equation (A.6).

For $6 < t < 18.5$:

$$P_{PV}(t) = (-0.0000323955t^2 + 0.0012949488t^4 - 0.0133779943t^3 - 0.07745311t^3 + 2.0436509568t - 7.9849739044) \times WF \quad (A.6)$$

For $t < 6$ and $18.5 < t$:

$$P_{PV}(t) = 0$$

where t is the time (e.g. 18.5 is 6:30 p.m.). WF is the factor due to the weather (Fine weather: $WF = 1.0$, Cloudy weather: $WF = 0.65$, Rainy weather: $WF = 0.16$).

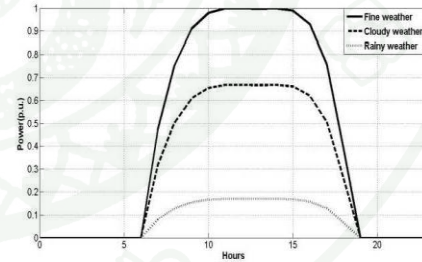


Fig A.1 PV operation curve

7. REFERENCES

- [1] IEA Report, "Modeling Load Shifting Using Electric Vehicles in a Smart Grid", 2010.
- [2] I.Ngamroo, Power System Dynamics and Stability, Mean Service Supply Ltd, Bangkok, 2011.
- [3] Mi Yeong Hwang et al., "Prediction of Wind Power Generation and Power Ramp Rate with Time Series Analysis", IEEE International Conference on Power Tech, pp. 512 - 515, 2011.
- [4] Provincial Electricity Authority, Power System Planning Criteria, PSPC, 2010.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล นายธนเดช ไพรธูณ

วัน เดือน ปี ที่เกิด 20 พฤศจิกายน 2527

สถานที่เกิด จ.ปทุมธานี

ประวัติการศึกษา วศ.บ.(ไฟฟ้ากำลัง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตำแหน่งปัจจุบัน -

สถานที่ทำงานปัจจุบัน -

ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ เสาถึยรภาพไฟฟ้ากำลังและการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

ทุนการศึกษาที่ได้รับ -

บทความวิจัยในระดับชาติและนานาชาติ

1. ธนเดช ไพรธูณ, คมสันต์ หงษ์สมบัติ และ ชศวีร์ วีระกำแหง. 2555. ผลกระทบของอัตราลาดเอียงกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนในระบบแบตเตอรี่สำหรับการควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริด. วารสารวิศวกรรมสาร มก. (KU Engineering Journal). ปีที่ มกราคม - มีนาคม 2556 (ฉบับที่ 82)
2. ธนเดช ไพรธูณ, คมสันต์ หงษ์สมบัติ และ ชศวีร์ วีระกำแหง. 2555. การวิเคราะห์การควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดโดยพิจารณาอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทน, น.235-238. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 (EECON-35), มหาวิทยาลัยกรุงเทพและศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.
3. ธนเดช ไพรธูณ, คมสันต์ หงษ์สมบัติ และ ชศวีร์ วีระกำแหง. 2555. ผลกระทบอัตราการลาดเอียงกำลังไฟฟ้าต่อการควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริด, น.1286-1295. การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 (GRC 2012), มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

4. T. Priroon, K. Hongesombut and Y. Weerakamaeng. 2013. Power Ramp Rate of Wind and Solar Farms on Frequency Regulation in Microgrid System. **Proceedings of the 2013 International Electrical Engineering Congress (IEECON 2013)**. 13-15 Mar 2013. Chiangmai, Thailand. (Accepted)
5. T. Priroon, K. Hongesombut and Y. Weerakamaeng. 2013. Evaluation of Battery System for Frequency Control in Microgrid System Considering Power Ramp Rate of Renewable Power Sources. **Proceedings of The 6th IASTED Asian Conference on Power and Energy System (AsiaPES)**. 10-12 Apr 2013. Phuket, Thailand. (Accepted)
6. K. Hongesombut, T. Priroon and Y. Weerakamaeng. 2013. Evaluation of Battery Energy Storage System for Frequency Control in Microgrid System. **Proceedings of The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology conference 2013 (ECTI-CON 2013)**. 15-17 May 2013. Phuket, Thailand. (Accepted)
7. T. Priroon, K. Hongesombut and Y. Weerakamaeng. 2013. Impact of Power Ramp Rate of Renewable Energy Sources on Battery Energy Storage System for Frequency Control in Microgrid System. **Proceedings of The IEEE PES Thailand Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems 2013**. 4 Mar 2013. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand. (Accepted)