

การควบคุมความถี่โหลดเสริมในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าและแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน พร้อมทั้งพิจารณาเวลาประวิงจากการสื่อสาร

Supplementary Load Frequency Control in Smart Grid using Plug-in Electric Vehicles and Community Energy Storage Considering Impact of Communication Delay

วงศ์กร นุสศรี และ สันติชัย เตชานุภาพฤธา

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

Email : wongsakom.m@hotmail.com, fengscdt@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความถี่โหลดในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยประยุกต์ใช้รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (PEV) และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน (CES) มาช่วยในการจัดการส่งจ่ายพลังงานให้กับระบบ โดยพิจารณาเวลาประวิงจากการสื่อสาร และประยุกต์ใช้ Particle Swarm Optimization (PSO) ในการเลือกค่าตัวแปรที่ดีที่สุดของระบบ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของโครงข่ายไฟฟ้าเมื่อทำการควบคุมความถี่ รวมถึงผลกระทบของเวลาประวิงจากการสื่อสารที่มีต่อโครงข่ายไฟฟ้า ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษานี้ นอกจากจะเป็นทางเลือกในการช่วยรักษาเสถียรภาพความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าแล้ว ยังเป็นการวางแผนสำหรับพลังงานทางเลือกในอนาคตอีกด้วย

คำสำคัญ :

ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ การควบคุมความถี่โหลด รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า แหล่งสะสมพลังงานในชุมชน เวลาประวิงการสื่อสาร

Abstract

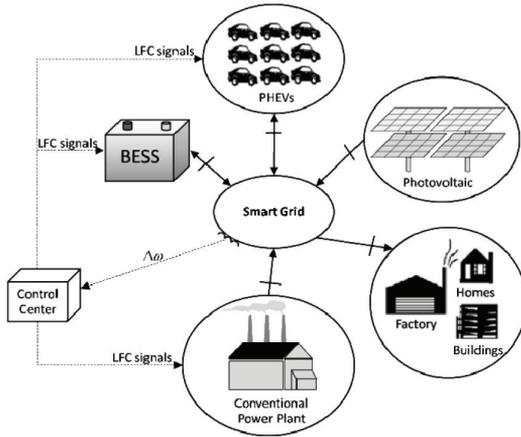
This paper presents a supplementary load frequency control in smart grid by application of plug-in electric vehicles and community energy storage to help in managing power flow in the system, meanwhile considering time delay in communication and application of the Particle Swarm Optimization (PSO) is used to choose the best parameters of the system. The results of the study show better stability of the system with the proposed frequency control including impact of communication delay. Benefits from this study give not only an alternative for frequency stabilization of the power network, but also a plan for alternative energy utilization in the future.



Keywords :

Smart Grid, Load Frequency Control (LFC), Plug-in Electric Vehicle (PEV), Community Energy Storage (CES), Communication Delay (CD)

1. คำนำ



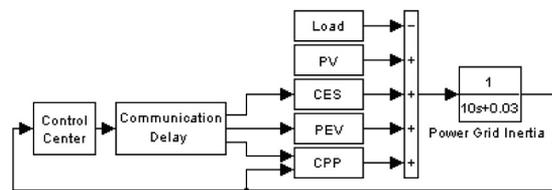
ภาพที่ 1 โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

ปัจจุบันปัญหาสถานะโลกร้อนส่งผลให้มีความต้องการใช้พลังงานสะอาดมากขึ้น แต่เนื่องจากพลังงานดังกล่าวมีกำลังผลิตที่ไม่แน่นอน ค่าการณได้ยาก ส่งผลให้ความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าเกิดความผันผวน ทำให้โครงข่ายไฟฟ้าสูญเสียเสถียรภาพเพื่อเป็นการลดผลกระทบดังกล่าว จึงได้ศึกษาและพัฒนาระบบไฟฟ้ารูปแบบใหม่ขึ้นเรียกว่าโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ แสดงได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าที่มีความทันสมัย สามารถรองรับกลุ่มพลังงานทางเลือกในอนาคตได้ เช่น รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า หรือแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน

การควบคุมความถี่โพลในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะผ่านศูนย์ควบคุมกลาง [1, 2] เป็นกระบวนการจัดการและควบคุมพลังงานจาก โรงจักรไฟฟ้า กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า [3, 4] และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน

ให้ส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามสัญญาณร้องขอให้ควบคุมความถี่ ซึ่งสามารถช่วยลดความผันผวนของความถี่ในโครงข่ายไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี และเมื่อพิจารณาเวลาประวิงจากการสื่อสาร (Communication Delay, CD) พบว่าประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่ของระบบลดลงดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว จึงได้มีการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณที่น้อย และมีคุณภาพ

บทความนี้นำเสนอการเสริมการควบคุมความถี่โพลของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน พร้อมทั้งพิจารณาเวลาประวิงที่เกิดขึ้นจากการสื่อสาร รวมถึงการใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

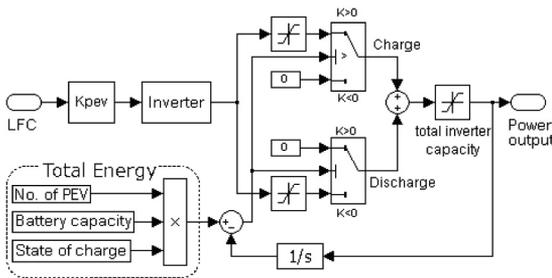


ภาพที่ 2 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่

2. แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะแสดงดังในภาพที่ 2 ประกอบไปด้วย ส่วนของความถี่ในโครงข่ายไฟฟ้ากำลัง (Power Grid Inertia) โรงจักรไฟฟ้า (Conventional Power Plant, CPP) ความผันผวนของ

โหลด (Load Fluctuation) ศูนย์ควบคุมกลาง (Control Center) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (PEV) โมเดลแหล่งกักเก็บพลังงานในชุมชน (Community Energy Storage, CES) และโมเดลเวลาประวิงจากการสื่อสาร (Communication Delay, CD)



ภาพที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (PEV)

2.1 กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า

กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าในการศึกษานี้ออกแบบโดยพิจารณาในลักษณะที่มีรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าจำนวนมากที่พร้อมจะชาร์จ หรือดิสชาร์จพลังงานให้กับระบบตามสัญญาณร้องขอจากศูนย์ควบคุมกลาง [2] ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยการศึกษานี้กำหนดให้มีรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าในระบบจำนวน 40,000 คัน แต่ละคันมีอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 kW และแบตเตอรี่สามารถจุพลังงานได้สูงสุด 24 kWh การชาร์จหรือดิสชาร์จพลังงานอยู่ในช่วงระหว่าง 80-90%

พลังงานรวมทั้งหมดของกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (Total Energy of PEVs) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$E_{Total} = N_{PEV} \cdot C_{Battery} \quad (1)$$

โดยที่ E_{Total} คือ พลังงานรวมทั้งหมดของกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า

N_{PEV} คือ จำนวนรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าทั้งหมด

$C_{Battery}$ คือ ขนาดความจุของแบตเตอรี่รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า

สถานะของการชาร์จพลังงานของกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (State of Charge, SOC) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 โดยที่ t คือ เวลา ณ ขณะที่ยังรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้ารับหรือส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

$$SOC_{AVG}(t) = 100 \cdot \frac{E_{total}(t)}{N_{PEV} \cdot C_{Battery}} [\%] \quad (2)$$

2.2 แหล่งสะสมพลังงานในชุมชน

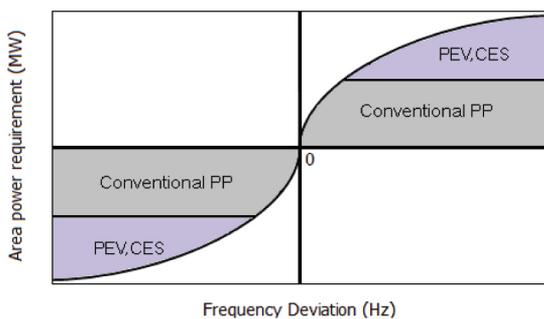
การศึกษานี้กำหนดให้มีแหล่งกักเก็บพลังงานในชุมชนกระจายอยู่ในระบบจำนวน 800 ลูก โดยแต่ละลูกมีอินเวอร์เตอร์ขนาด 25 kW และแบตเตอรี่สามารถจุพลังงานได้สูงสุด 75 kWh การชาร์จพลังงานอยู่ในช่วงระหว่าง 10-90% บล็อกไดอะแกรมของแหล่งกักเก็บพลังงานในชุมชนมีลักษณะเหมือนกันกับบล็อกไดอะแกรมของรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเนื่องจากเป็นแบตเตอรี่เช่นเดียวกัน

2.3 การควบคุมความถี่โหลด

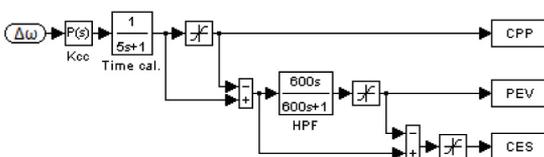
เกณฑ์การควบคุมความถี่โหลดของศูนย์ควบคุมกลางแสดงได้ดังภาพที่ 4 เมื่อศูนย์ควบคุมกลางได้รับสัญญาณความถี่จากระบบ ก็จะประมวลผล และส่งสัญญาณไปยังโรงจักรไฟฟ้า เพื่อร้องขอให้ปรับกำลังการผลิตตามความต้องการของโหลด แต่เนื่องจากโรงจักรไฟฟ้ามีการตอบสนองที่ช้า และมีกำลังการผลิตที่จำกัด จึงไม่



สามารถปรับกำลังการผลิตตามการร้องขอได้ทั้งหมด ศูนย์ควบคุมกลางจึงส่งสัญญาณในส่วนที่โรงจักรไฟฟ้า ไม่สามารถตอบสนองได้ไปยังกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน เพื่อร้องขอให้ชาร์จ หรือดิสชาร์จกำลังไฟฟ้าให้กับระบบตามความต้องการ ของโหลด เพราะสามารถตอบสนองต่อการร้องขอให้ ควบคุมความถี่ได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 4 เกณฑ์การควบคุมความถี่โหลด ของศูนย์ควบคุมกลาง



ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมควบคุมความถี่โหลด ของศูนย์ควบคุมกลาง

บล็อกไดอะแกรมที่ใช้ในการควบคุมความถี่ โหลดของศูนย์ควบคุมกลาง [3] แสดงดังภาพที่ 5 ศูนย์ควบคุมกลางจะตรวจจับสัญญาณความถี่ของระบบ เพื่อประมวลผลสำหรับกำหนดช่วงของพื้นที่สัญญาณ ร้องขอที่จะส่งไปยังโรงจักรไฟฟ้า กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชนทุกๆ 5 วินาที ขอบเขต พื้นที่ของสัญญาณร้องขอที่ส่งไปยังโรงจักรไฟฟ้าถูกกำหนด โดยขนาดกำลังการผลิตที่โรงจักรไฟฟ้าสามารถปรับได้

(LFC capacity) ในส่วนของสัญญาณร้องขอที่ส่งไปยัง กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า จะถูกจำกัดในส่วนที่มีการ เปลี่ยนแปลงช้าๆ ออกไป โดยผ่านอุปกรณ์กรองสัญญาณ ความถี่สูง (high-pass filter) ที่มีค่าคงที่ของเวลาคือ 600 วินาที ขอบเขตพื้นที่ของสัญญาณร้องขอจะถูกกำหนด โดยขนาดของอินเวอร์เตอร์รวมของกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอิน ไฟฟ้า (Controllable capacity) และในส่วนของสัญญาณ ร้อง ขอที่ส่งไปยังแหล่งสะสมพลังงานในชุมชนจะถูก กำหนดโดยขนาดของอินเวอร์เตอร์ (Inverter capacity)

2.4 เวลาประวิงจากการสื่อสาร

การส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมความถี่โหลด ของศูนย์ควบคุมกลางไปยังโรงจักรไฟฟ้า กลุ่มรถยนต์ ปลั๊กอินไฟฟ้า หรือแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน จะส่ง ผ่านทางระบบสื่อสาร ทำให้เกิดความล่าช้าในการรับ สัญญาณ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า เวลาประวิง จากการสื่อสาร (Communication Delay) ซึ่งในการ ศึกษานี้จะพิจารณาระบบที่ใช้ในการสื่อสาร เป็นรูปแบบ ของการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่มีเวลาหน่วง (T_d) คือ 500 ms ต่อการส่งสัญญาณหนึ่งเที่ยวการสื่อสาร และเพื่อความสะดวกในการออกแบบ ในเทอมนี้เวลา ประวิงจะถูกประมาณเป็นฟังก์ชันโอนย้ายอันดับหนึ่ง ดังสมการ ที่ 3

$$e^{-T_d s} \approx \frac{1 - \frac{T_d}{2} s}{1 + \frac{T_d}{2} s} \quad (3)$$

3. การหาค่าที่เหมาะสมของคอนโทรลเลอร์โดยวิธีอนุภาค

เพื่อให้ระบบจำลองที่ถูกออกแบบสามารถควบคุม ได้ตามเป้าหมาย กำลังไฟฟ้าขาออกของโรงจักรไฟฟ้า



(K_{CPP}) กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (K_{PEV}) และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชน (K_{CES}) จะถูกปรับเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด โดยการหาค่าที่น้อยที่สุดของส่วนเบี่ยงเบนความถี่ (Δf) ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Object function) จะใช้ดัชนีค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral Absolute Error, IAE) เป็นตัวบอกประสิทธิภาพของระบบ แสดงได้ดังสมการที่ 4

$$F = \text{Min} \int |f(t) - f_{ref}| dt \quad (4)$$

โดยที่ F คือ ค่าที่เหมาะสมที่สุด $f(t)$ คือ ความถี่ของระบบ $f(t)$ คือ ความถี่ฐานของระบบ (50 Hz) ขั้นตอนสำหรับการปรับคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swam Optimization, PSO) อธิบายได้ดังนี้

1. ระบุค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ PSO โดยสุ่มตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคในกลุ่มประชากร
2. ประมวลผลหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละอนุภาค ($Pbest$) โดยใช้ฟังก์ชันเป้าหมายในสมการที่ 4
3. เปรียบเทียบค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละอนุภาค โดยค่าตำแหน่งของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มประชากร ($Gbest$)
4. ปรับความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัวในรอบการทำงานใหม่ตามสมการที่ 5 และ 6 จากนั้นวนกลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 และ 3
5. ทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำไปจนกระทั่งครบจำนวนรอบในการทำงาน ค่า ($Gbest$) สุดท้ายที่ได้จะเป็นคำตอบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

$$V_i^{(k+1)} = \omega \cdot V_i^k + C_1 \cdot \text{rand} \cdot (Pbest_i - X_i^k) + C_2 \cdot \text{rant} \cdot (Gbest_i - x_i^k) + \dots \quad (5)$$

$$X_i^{(k+1)} = X_i^k + V_i^{(k+1)} \quad (6)$$

โดยที่ $V_i^{(k+1)}$ คือ ความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคที่ i ในรอบการทำงานที่ $k + 1$

V_i^k คือ ความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคที่ i ในรอบการทำงานที่ k

$X_i^{(k+1)}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคที่ i ในรอบการทำงาน ที่ $k + 1$

X_i^k คือ ตำแหน่งของอนุภาคที่ i ในรอบการทำงาน ที่ k

ω คือ ค่าน้ำหนักความเฉื่อย

C_1, C_2 คือ ค่าคงที่ความเร่ง

$\text{rand}_1, \text{rand}_2$ คือ ตัวเลขสุ่มระหว่าง (0,1)

4. ข้อมูลและเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่

การศึกษานี้จะวิเคราะห์ความถี่ในช่วงเวลาสั้นๆ โดยใช้เวลาจำนวน 900 วินาที แหล่งกำลังการผลิตหลักของระบบไฟฟ้าประกอบด้วยโรงจักรไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตสูงสุดขนาด 1,250 MW และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตสูงสุดขนาด 100 MW แสดงดังตารางที่ 1 โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 ลักษณะความผันผวนของกำลังไฟฟ้าในระบบแสดงได้ดังภาพที่ 6

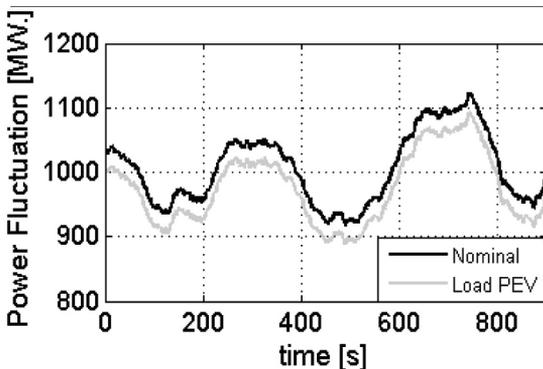


ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

	Maximum Rated Capacity [MW]
CPP	1,250
PV	100

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการวิเคราะห์ความถี่ที่ใช้ในการทดลอง

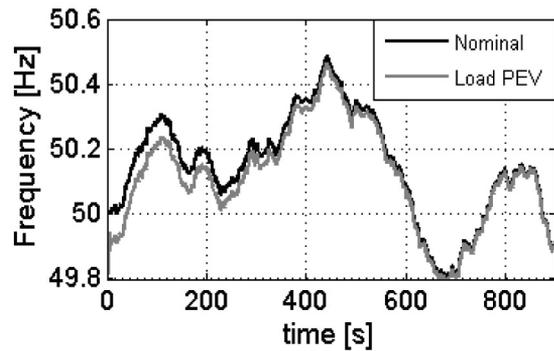
Equivalent Inertia Constant M_{eq} [s]		10
Load-Damping Coefficient D [p.u.]		0.03
Reference Frequency [Hz]		50
Governor Free Capacity [% Rated Capacity]		± 5.0
LFC Capacity [% Rated Capacity]		± 1.5
PEV	Total Inverter Capacity [MW]	± 120
	Total Battery Capacity [MWh]	960
CES	Total Inverter Capacity [MW]	± 20
	Total Battery Capacity [MWh]	60



ภาพที่ 6 ลักษณะความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบกรณีปกติ และกรณีที่มีโหลดจากกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาในระบบ

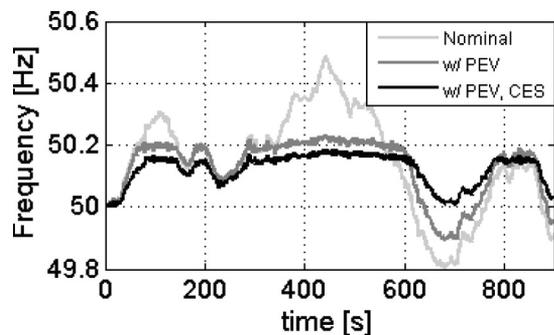
5. ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองการควบคุมความถี่โหลดในโครงข่ายไฟฟ้าที่ปล่อยให้กลุ่มรถยนต์ ปลั๊กอินไฟฟ้า จำนวน 10,000 คัน ชาร์จพลังงานอย่างอิสระ (เสมือนโหลด) โดยไม่มีการควบคุม สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7



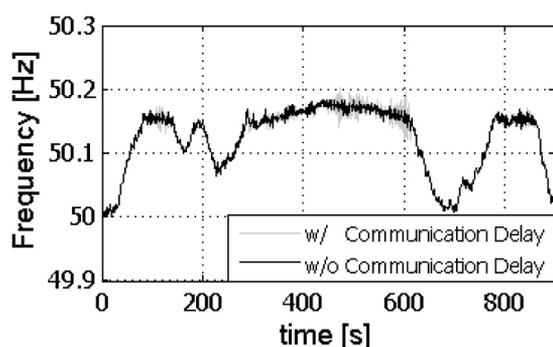
ภาพที่ 7 ความถี่ของระบบไฟฟ้ากรณีที่ 1 และ 2

จากภาพแสดงให้เห็นว่า โครงข่ายไฟฟ้าที่ไม่ควบคุมกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า (ปล่อยให้ชาร์จพลังงานอย่างอิสระ) ส่งผลให้ความถี่ในระบบตกลงไปจากเดิมเนื่องจากโครงข่ายไฟฟ้ามียโหลดในระบบเพิ่มขึ้น

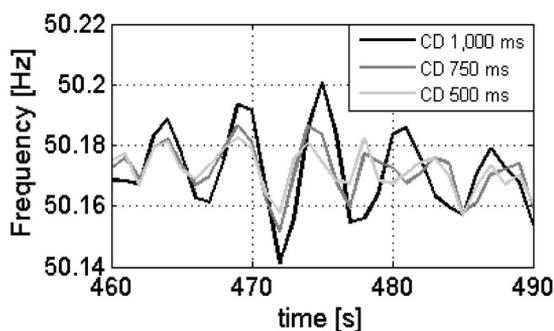


ภาพที่ 8 ความถี่ระบบไฟฟ้ากรณีที่ 1, 3 และ 4

ผลที่ได้จากการทดลองการควบคุมความถี่โหลดในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ที่มีการประยุกต์ใช้รถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งกักเก็บพลังงานในชุมชนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8 จากภาพแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานจากรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้าสามารถช่วยให้ความผันผวนของความถี่ลดลงได้ และเมื่อโครงข่ายไฟฟ้าใช้พลังงานทั้งจากรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งกักเก็บพลังงานในชุมชน ยังสามารถช่วยลดความผันผวนของความถี่ได้ดียิ่งขึ้น



ภาพที่ 9 ความถี่ของระบบไฟฟ้ากรณี 4 และ 5

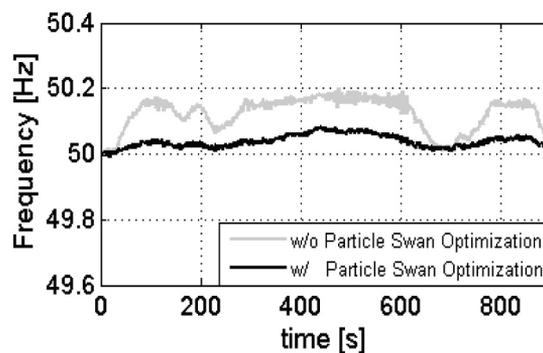


ภาพที่ 10 ความถี่ระบบไฟฟ้าที่เวลาประวิงต่างๆ

ผลการควบคุมความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการพิจารณาเวลาประวิงที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10

จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการพิจารณาเวลาประวิงจากการสื่อสาร จะมีลักษณะความผันผวนที่มากกว่าความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าที่ไม่ได้พิจารณาเวลาประวิงจากการสื่อสาร

จากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระยะเวลาในการประวิงจากการสื่อสารมากๆ ยิ่งส่งผลทำให้ความถี่ในระบบมีความผันผวนเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 11 ความถี่ของระบบไฟฟ้า

กรณีที่มีการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swan Optimization, PSO) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 11 จากภาพแสดงให้เห็นว่าการควบคุมความถี่โดยมีการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่มีการประยุกต์ใช้กลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งกักเก็บพลังงานในชุมชนสามารถช่วยลดความผันผวนของความถี่ในโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะได้ดีมาก

การวิเคราะห์ผลเชิงตัวเลขในรูปแบบของค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถช่วยให้

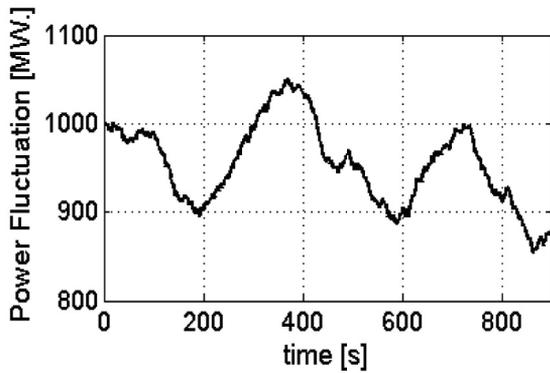


การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลมีความชัดเจนยิ่งขึ้น
ดังแสดงในตารางที่ 3

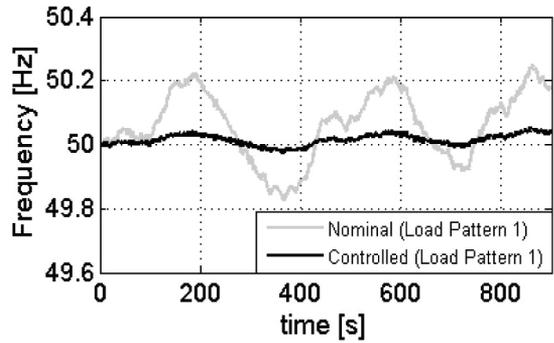
ตารางที่ 3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวน
ของทุกกรณี

case	PV	PEV	CES	CD	PSO	SD	Variance
1	✓	-	-	-	-	0.1050	0.0110
2	✓	Load	-	-	-	0.1088	0.0118
3	✓	✓	-	-	-	0.0653	0.0043
4	✓	✓	✓	-	-	0.0531	0.0028
5	✓	✓	✓	✓	-	0.0537	0.0029
6	✓	✓	✓	✓	✓	0.0227	0.0005

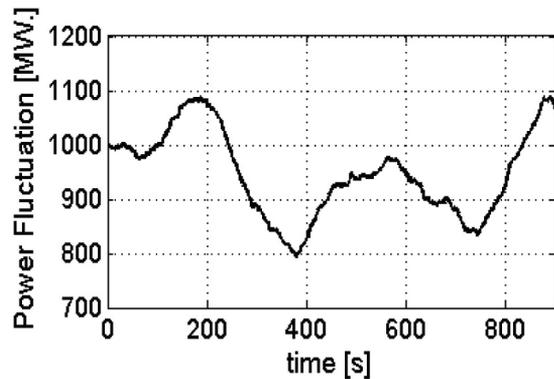
ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุม
ความถี่ของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่ใช้ในการศึกษา
โดยใช้โหนดลักษณะอื่นๆ สามารถแสดงได้ดังภาพที่
12-15



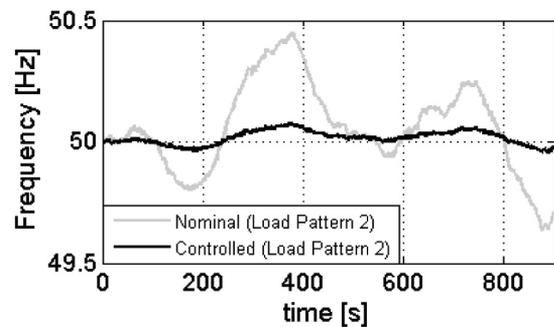
ภาพที่ 12 โหลดรูปแบบที่ 1 (ความผันผวนไม่มาก)
ที่นำมาทดสอบ



ภาพที่ 13 ความถี่ของโหลดรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 14 โหลดรูปแบบที่ 2 (ความผันผวนมากๆ)
ที่นำมาทดสอบ



ภาพที่ 15 ความถี่ของโหลดรูปแบบที่ 2

จากภาพที่ 12-15 เมื่อนำโพลีรูปแบบที่ 1 (ความผันผวนไม่มาก) และโพลีรูปแบบที่ 2 (ความผันผวนมากๆ) มาทดสอบกับแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองยังคงสามารถรักษาเสถียรภาพของความถี่ให้อยู่ในระดับที่ดีได้เป็นปกติ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่ของแบบจำลอง

6. สรุป

บทความนี้นำเสนอกระบวนการควบคุมความถี่โพลีสำหรับโรงจักรไฟฟ้า กลุ่มรถยนต์ ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชนโดยพิจารณาเวลาประวิงจากการสื่อสาร ซึ่งผลจากการนำพลังงานไฟฟ้าจากกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชนมาช่วยในการชาร์จ และดิสชาร์จพลังงานให้กับระบบไฟฟ้า สามารถช่วยให้การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นการมีส่วนร่วมในการควบคุมความถี่ของกลุ่มรถยนต์ปลั๊กอินไฟฟ้า และแหล่งสะสมพลังงานในชุมชนจึงเป็นกระบวนการที่มีคุณภาพ ส่วนเวลาประวิงจากการสื่อสารก็แสดงให้เห็นว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมความถี่ของระบบ อย่างไรก็ตามผลจากการนำกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมาใช้ควบคู่ไปกับกระบวนการควบคุมความถี่โพลีของระบบ ก็สามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มสูงขึ้นในการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ

เอกสารอ้างอิง

[1] Masuta, T. and Yokoyama. A. 2012. Supplementary load frequency control by use of a number of both electric vehicles and heat pump

water heaters. **IEEE Transactions on Smart Grid, vol.3, no.3.** pp. 1253-1262. September 2012.

[2] Takagi, M., Yamaji. K. and Yamamoto. H.. 2009. Power system stabilization by charging power management of Plug-in Hybrid Electric Vehicles with LFC signal. pp. 822-826. *In Proceedings of the 2009 Vehicle Power and Propulsion Conference.* 7-10 September 2009. IEEE CONFERENCES. Dearborn, Michigan, USA.

[3] Dechanupaprittha, S. and Mitani, Y. 2012. Synchrophasor based tuning of damping controllers for interconnected smart grids with V2G systems. pp. 13-17. *In Proceedings of the IASTED AsiaPES.* April 2012, Phuket, Thailand.

[4] Kramer, B., Chakraborty, S. and Kroposki, B. 2008. A Review of Plug-in Vehicles and Vehicle to Grid Capability. pp. 2278-2283. *In Proceedings of the 34th Annual Conference.* 10-13 November 2008, IEEE CONFERENCES. Orlando, Florida, USA.

[5] Kundur, P. 1993. **Power System Stability and Control.** McGraw-Hill, Inc. Washington D.C., USA.

[6] Dechanupaprittha, S., and Mitani, Y. (2010). Synchrophasor based Controller Design for Frequency Stabilization of Interconnected



Power System with Plug-In Electric Vehicles. pp. 426-430. *In Proceedings of the 4th IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (Asia PES2010)*, 24-26 Nov. 2010, Phuket, Thailand.

[7] Shimizu, K., Masuta, T. Ota Y. and Yokoyama. A. 2010. Load Frequency Control in Power System Using Vehicle-to-Grid System Considering the Customer Convenience of Electric Vehicles. pp. 1-8. *In Proceedings of the 2010 International Conference*. 24-28 October

2010. Power System Technology (POWERCON). Hangzhou, China.

[8] Sutanto, D. 2004. Alternative energy resource from electric transportation. pp. 149-154. *In Proceedings of the 2004 First International Conference*. 9-11 November 2004, IEEE CONFERENCES. Hong Kong, China.

[9] มงคล แซ่เจี๋ย. 2555. การทำเสถียรภาพโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะด้วยตัวเก็บสะสมพลังงานแม่เหล็ก โดยใช้ตัวนำยิ่งยวดที่ออกแบบอย่างเหมาะสม. *วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*