

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมความถี่ในระบบสมาร์ตกริดโดยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ
รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน

**Smart Frequency Control by Power Charging Control of
Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)**



T119424

โดย

นาย บัณฑิต สมหวัง
นาย นิรุตร์ วิสุทธิชัย
นางสาว พรพรหม หิรัญมงคลรัตน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**119424**
วัน,เดือน,ปี.....**- 7 S.ค. 2554**

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การควบคุมความถี่ในระบบสมาร์ทกริดโดยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ
รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน

Smart Frequency Control by Power Charging Control of
Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อิศระชัย งามหุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

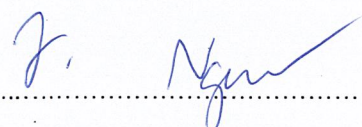
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความถี่ในระบบสมาร์ตกริดโดยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้า
ของรถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน

ผู้จัดทำ

1. นาย ปิณฑพัทธ์ สมหวัง
2. นาย นิรุตร์ วิสุทธิชัย
3. นางสาว พรพรหม หิรัญมงคลรัตน์


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อัสระชัย งามหฺรุ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความถี่ในระบบสมาร์ทกริดโดยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ
รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน

นาย ปัตถพัทธ์ สมหวัง
นาย นิรุตร์ วิสุทธิชัย
นางสาว พรพรหม หิรัญมงคลรัตน์
รศ.ดร. อิศระชัย งามหุ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ในระบบสมาร์ทกริด แนวโน้มการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานลมมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการแกว่งของความถี่ โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความถี่นั้นมีไม่เพียงพอ ส่วนในด้านผู้ใช้ไฟฟ้า การใช้รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) ก็มีเพิ่มมากขึ้นและการชาร์จกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ก็มักทำกันในเวลากลางคืน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของกลุ่ม PHEV อย่างเหมาะสม เพื่อไปลดการแกว่งของความถี่ในระบบ วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI ที่ออกแบบมาอย่างเหมาะสม เพื่อช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบสมาร์ทกริด ผลที่ได้คือ การควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของวิธีที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพในการช่วยลดการแกว่งของพลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อและการแกว่งของความถี่อื่นเนื่องมาจากพลังงานลมได้เป็นอย่างดี

**Smart Frequency Control by Power Charging Control of
Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)**

Pannaphat Somwang

Nirut Visuttichai

Pornphom Hiranmongkonrat

Assoc. Prof. Dr. Issarachai Ngamroo Supervisor

2010

ABSTRACT

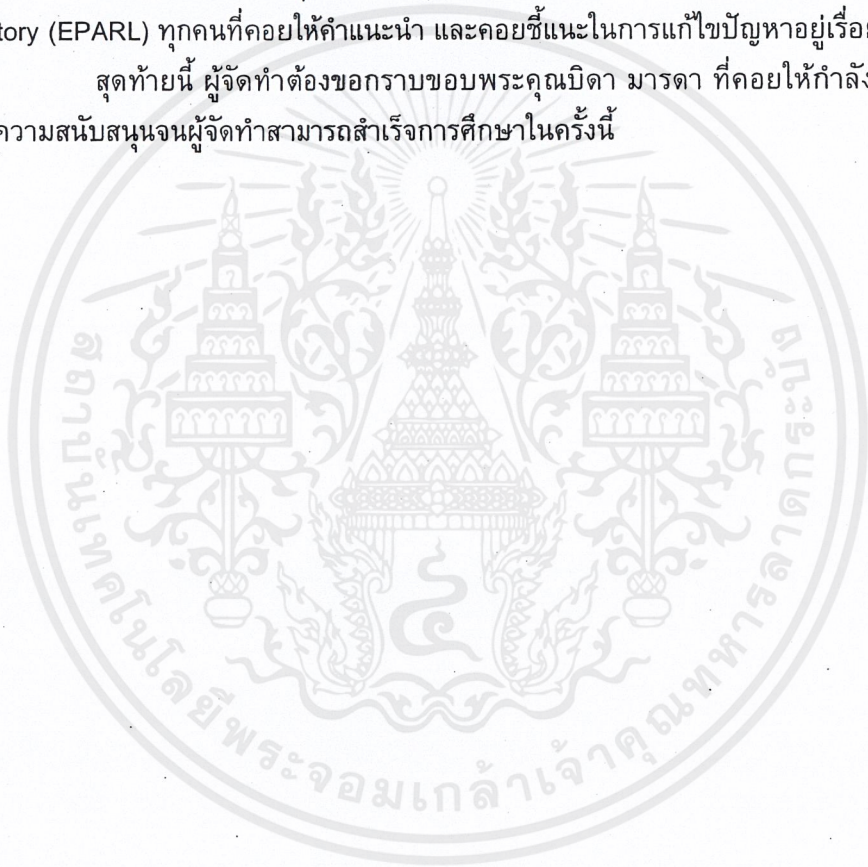
In smart grid trend to install a wind power source increases. This will cause problems frequency oscillation. Especially during at night, which generator used for frequency control has not enough. In the consumer section use of PHEV has increase and charging power most often done at night. It is possible to charging power control of PHEV to reduce frequency oscillation in the system. This thesis presents charging power control of PHEV by using PI controller that is designed properly. For reduce the oscillation of power in a smart grid. The result is to control charging power of the proposed method is effective in reducing the oscillation of the power flow in tie line and the oscillation frequency due to wind power as well.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. อิศระชัย งามหุรู อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาที่ผู้จัดทำพบเจอ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำในครั้งนี้ ทำให้ปริญญาณิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ ในห้อง Electrical Power Applications Research Laboratory (EPARL) ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ และคอยชี้แนะในการแก้ไขปัญหายู่เรื่อยมา

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและคอยให้ความสนับสนุนจนผู้จัดทำสามารถสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญภาพ..... | VI |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา..... | 2 |
| 1.5 แผนการดำเนินโครงการ..... | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย..... | 3 |
| 1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 การควบคุมระบบไฟฟ้า..... | 5 |
| 2.1.1 พื้นฐานการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... | 5 |
| 2.1.2 ตัวควบคุมความถี่..... | 6 |
| 2.1.3 ตัวควบคุมแรงดัน..... | 6 |
| 2.2 แบบจำลองระบบไฟฟ้า..... | 6 |
| 2.2.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Generator Model)..... | 7 |
| 2.2.2 แบบจำลองโหลด (Load Model)..... | 11 |
| 2.2.3 แบบจำลองต้นกำลัง (Prime Mover Model)..... | 12 |
| 2.2.4 แบบจำลองกัลวานอร์ (Governor Model)..... | 13 |
| 2.2.5 ตัวควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ..... | 16 |
| 2.2.6 AGC ในระบบพื้นที่เดียว..... | 17 |
| 2.2.7 AGC ในระบบหลายพื้นที่..... | 18 |
| 2.2.8 การควบคุมพลังงานในสายส่งเชื่อมต่อ..... | 19 |
| 2.3 ระบบสมาร์ตกริด (Smart Grid System)..... | 20 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.4 รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (PHEV)..... | 25 |
| 2.4.1 แนวคิดการประยุกต์ใช้ PHEV เพื่อทำเสถียรภาพระบบ..... | 29 |
| บทที่ 3 การจำลองและการออกแบบ..... | 30 |
| 3.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา..... | 30 |
| 3.1.1 แบบจำลองโหลด (Load Model) | 32 |
| 3.1.2 แบบจำลองของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Output Model) | 33 |
| 3.1.3 แบบจำลองของการควบคุมการชาร์จ PHEV..... | 34 |
| 3.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี Integrated area error (IAE) | 35 |
| บทที่ 4 ผลการจำลอง..... | 37 |
| 4.1 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี IAE..... | 37 |
| 4.2 ผลการจำลอง..... | 39 |
| 4.2.1 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 1..... | 40 |
| 4.2.2 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 2..... | 44 |
| 4.2.2 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 3..... | 48 |
| 4.2.4 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 1 ด้วย PHEV 100,000 คัน..... | 52 |
| บทที่ 5 สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| 5.1 สรุปผลการจำลอง..... | 55 |
| 5.2 ข้อดีและข้อจำกัด..... | 56 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 56 |
| บรรณานุกรม..... | 57 |
| ภาคผนวก | 58 |
| ประวัติผู้เขียน | 65 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... | 5 |
| 2.2 ขนาดเวลาของปรากฏการณ์ในระบบไฟฟ้า..... | 6 |
| 2.3 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส..... | 7 |
| 2.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... | 11 |
| 2.5 บล็อกไดอะแกรมของโหลด..... | 12 |
| 2.6 บล็อกไดอะแกรมของโหลดแบบลดรูป..... | 12 |
| 2.7 บล็อกไดอะแกรมของต้นกำลัง..... | 13 |
| 2.8 กราฟคุณลักษณะของกัลวานอร์..... | 14 |
| 2.9 บล็อกไดอะแกรมของกัลวานอร์..... | 14 |
| 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบเดี่ยว..... | 15 |
| 2.11 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมความถี่ที่มีอินพุทคือ $\Delta P_L(s)$ และเอาต์พุทคือ $\Delta \omega_r(s)$ | 16 |
| 2.12 AGC ของระบบเดี่ยว..... | 17 |
| 2.13 บล็อกไดอะแกรมโดยประมาณของ AGC ระบบเดี่ยว..... | 17 |
| 2.14 ระบบ 2 พื้นที่ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ..... | 18 |
| 2.15 ระบบ 2 พื้นที่ที่มี ACE..... | 20 |
| 2.16 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน..... | 21 |
| 2.17 โครงข่ายโดยรวมของระบบสมาร์ทกริด..... | 21 |
| 2.18 โครงข่ายของระบบสมาร์ทกริด..... | 22 |
| 2.19 รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน..... | 25 |
| 2.20 การทำงานขณะออกตัว..... | 26 |
| 2.21 การทำงานขณะลดความเร็วหรือเบรก..... | 27 |
| 2.22 การทำงานขณะเร่งความเร็ว..... | 27 |
| 2.23 การทำงานขณะขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่..... | 28 |
| 2.24 การเปรียบเทียบระหว่าง HEV, PHEV และกำลังไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่..... | 29 |
| 3.1 ระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันด้วยสายส่ง..... | 30 |
| 3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงด้วยสายส่ง..... | 31 |
| 3.3 แบบจำลองของโหลด..... | 33 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.4 การเปลี่ยนแปลงของโหลด..... | 33 |
| 3.5 แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม..... | 34 |
| 3.6 การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม..... | 34 |
| 3.7 แบบจำลองการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV..... | 35 |
| 4.1 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี IAE | 37 |
| 4.2 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี IAE ที่หาจุดต่ำสุด..... | 38 |
| 4.3 แบบจำลองระบบของ PHEV ที่ใส่ค่าพารามิเตอร์แล้ว..... | 38 |
| 4.4 แบบจำลองสถานะที่ 1 แสดงถึงสถานะที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV อยู่ในระบบ (No PHEV)..... | 39 |
| 4.5 แบบจำลองสถานะที่ 2 แสดงถึงสถานะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แต่ไม่มีตัวควบคุม PI ติดตั้งเข้าไป (PHEV Control without PI)..... | 39 |
| 4.6 แบบจำลองสถานะที่ 3 แสดงถึงสถานะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วย (PHEV with Propose Control)..... | 39 |
| 4.7 การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 1..... | 40 |
| 4.8 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 1..... | 40 |
| 4.9 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 1..... | 41 |
| 4.10 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1..... | 41 |
| 4.11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 1..... | 42 |
| 4.12 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1..... | 42 |
| 4.13 การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 2..... | 44 |
| 4.14 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 2..... | 44 |
| 4.15 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 2..... | 45 |
| 4.16 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 2..... | 45 |
| 4.17 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 2..... | 46 |
| 4.18 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 2..... | 46 |
| 4.19 การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 3..... | 48 |
| 4.20 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 3..... | 48 |
| 4.21 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 3..... | 49 |
| 4.22 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 3..... | 49 |
| 4.23 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 3..... | 50 |
| 4.24 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 3..... | 50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.25 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 1 ด้วย..... | 52 |
| 4.26 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน..... | 52 |
| 4.27 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน..... | 53 |
| 4.28 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน..... | 53 |
| 4.29 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน..... | 54 |



สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แผนการดำเนินงาน..... | 3 |
| 2.1 การเปรียบเทียบระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไปและสมาร์ตกริด..... | 23 |
| 3.1 ข้อมูลของระบบ..... | 31 |
| 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบ..... | 32 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีเพิ่มมากขึ้น และในอนาคตมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งพลังงานใหม่ๆเพิ่มเติมเข้ามาหรือบรรดาคือให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดจึงมีหลายภาคส่วนที่มีบทบาทในเรื่องนี้

ในภาคส่วนพลังงานนั้น พลังงานทดแทนกำลังเข้ามาในระบบไฟฟ้าเป็นจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และพลังงานลมก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้กันเนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง แต่ข้อเสียหลักๆของพลังงานลมก็คือ มีความไม่แน่นอนของกำลังการผลิตที่จ่ายเข้ามาในระบบอันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของกระแสลม ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อระบบในด้านเสถียรภาพทางความถี่และกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อ (Tie Line) ซึ่งผลกระทบต่อเหล่านี้จะเห็นชัดในตอนกลางคืนที่จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่คอยควบคุมความถี่นั้นลดลง

ในภาคส่วนของการรถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) เป็นอีกชนิดหนึ่งของรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดย PHEV จะสามารถชาร์จพลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและสามารถที่จะวิ่งได้เป็นระยะทางหลายสิบกิโลเมตรในโหมดขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วการชาร์จพลังงานให้กับ PHEV จะนิยมชาร์จในช่วงกลางคืน เนื่องจากในเวลากลางวัน PHEV จะถูกนำไปใช้งาน ดังนั้นหากมีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ได้อย่างเหมาะสม ก็จะสามารถลดการแกว่งของความถี่อันเนื่องมาจากแหล่งพลังงานลมได้

ปัญหานี้มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่รับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม Area Control Error (ACE) โดยจะใช้ความถี่ในพื้นที่เองและใช้ตัวควบคุมแบบ PI เป็นตัวดำเนินการซึ่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จะทำการออกแบบโดยพิจารณาค่า Integrate Area Error (IAE) ให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้สามารถลดการแกว่งของพลังงานและความถี่ในระบบสมาร์ทกริดอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.

1. เพื่อประยุกต์ใช้ PHEV ซึ่งติดตั้งในด้านผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อควบคุมความถี่ในระบบสมาร์ทกริด
2. เพื่อนำเสนอตัวควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV สำหรับการลดการแกว่งของความถี่ เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานและการเปลี่ยนแปลงของโหลด

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาการลดการแกว่งของความถี่ อันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลม ด้วยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV
2. ออกแบบพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ด้วยวิธี Integrate Area Error (IAE)

1.4 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. ศึกษาระบบจำลองอุปกรณ์ต่างๆในระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย
 - โรงไฟฟ้า
 - ตัวควบคุมความถี่ในพื้นที่
 - แหล่งจ่ายพลังงานลม
 - รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน และหลักการของการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า
3. ทำการสร้างแบบจำลองของระบบไฟฟ้าด้วย MATLAB Simulink โดยใช้การควบคุมแบบเกาตามเอกสาร [9]
4. ทำการออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PHEV โดยใช้วิธี IAE
5. ป้อนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่หามาได้ในข้อที่ 4 แล้วทำการทดสอบดูผลตอบสนอง เมื่อมีการแกว่งจากพลังงานลม
6. วิเคราะห์ผลตอบสนองและเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นกับการควบคุมแบบเกา [9]
7. ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบครั้งสุดท้าย
8. สรุปผลและวิเคราะห์ผลที่ได้ รวมทั้งเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

บริษัทยาธิพันธ์ฉบับนี้เป็นผลจากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล ทั้งหลักการทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

| การดำเนินงาน | ภาคเรียนที่ 1 | | | | ภาคเรียนที่ 2 | | | |
|---|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|
| | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. |
| 1. ศึกษาหาข้อมูลจากบทความวิจัยต่างประเทศ | ■ | | | | | | | |
| 2. ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB Simulink | | ■ | | | | | | |
| 3. สร้างแบบจำลองระบบโดยใช้พารามิเตอร์ตัวควบคุม PHEV ตามบทความต่างประเทศ [9] | | | ■ | ■ | | | | |
| 4. หาค่าพารามิเตอร์ของ PHEV ที่เหมาะสมด้วยวิธี IAE | | | | | ■ | | | |
| 5. ทำการทดสอบระบบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาและเปรียบเทียบผลกับแบบเก่า [9] | | | | | | ■ | ■ | |
| 6. สรุปผลการทดสอบ | | | | | | | ■ | ■ |

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถจำลองพฤติกรรมของระบบเพื่อดูผลตอบสนอง ในกรณีที่มีแหล่งจ่ายพลังงานลมอยู่ในระบบ
2. สามารถใช้ PHEV ในการช่วยลดการแกว่งของความเร็วในระบบอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานลม
3. สามารถใช้วิธี IAE ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PHEV ได้
4. เป็นการนำเสนอการใช้ PHEV ในการช่วยควบคุมระบบ ซึ่งเป็นแนวคิดของระบบสมาร์ทกริด
5. สามารถจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง และผลตอบสนอง ลงบนระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะรู้ถึงปัญหา รวมถึงแนวทางการแก้ไข เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังจริงได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบที่มีปัญหาจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานลมในระบบ ด้วยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของกลุ่ม PHEV โดยระบบที่ใช้จะเป็นระบบแบบ 2 พื้นที่เชื่อมโยงกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาเป็น 5 บทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมไปถึงวิธีดำเนินงาน แผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎี ของแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลัง พร้อมทั้งอธิบายในส่วนตัวควบคุมความถี่ในระบบ รวมถึงแนะนำการทำงานของ PHEV และการทำงานของระบบสมาร์ทกริดเบื้องต้น

บทที่ 3 การจำลองและออกแบบ ในบทนี้จะอธิบายถึง แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบบจำลองของ PHEV และขั้นตอนวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี IAE

บทที่ 4 ผลการทดลอง ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PHEV และผลการจำลองของระบบ โดยทำการเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ระบบที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่ใช้เพียงการควบคุมแบบป้อนกลับ และระบบที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุมแบบ PI ที่ได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาแล้ว ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานลมรูปแบบต่างๆ

บทที่ 5 สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และการดำเนินโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ และข้อเสนอแนะ ของโครงการ

ภาคผนวก ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยการอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและคำเฉพาะต่างๆที่ใช้ในปฏิญานิพนธ์

ในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ตัวควบคุมความถี่ (Load Frequency Control: LFC) และตัวควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator: AVR) โดยทั่วไปแล้ว จะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.1 [1] ที่แสดงให้เห็นไดอะแกรมของตัวควบคุมความถี่และตัวควบคุมแรงดันอัตโนมัติ โดยตัวควบคุมเหล่านี้จะถูกติดตั้งมาที่ควบคุมดูแลการเปลี่ยนแปลงเล็กๆ ของโหลดในระบบเพื่อรักษาความถี่และแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับยอมรับได้

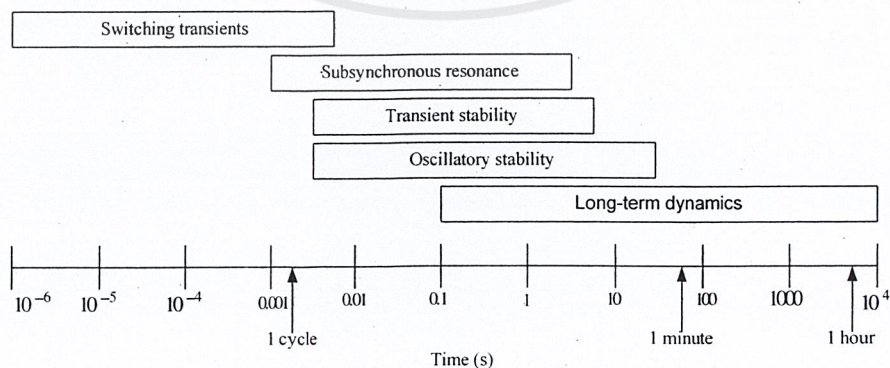
2.1.2 ตัวควบคุมความถี่

การทำงานของตัวควบคุมความถี่มีจุดประสงค์เพื่อรักษาการตอบสนองทางความถี่ให้คงที่ เพื่อเป็นการแบ่งโหลดระหว่างแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายเชื่อมต่อ โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่และการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสายเชื่อมต่อจะถูกตรวจจับโดยเซ็นเซอร์ ซึ่งจะได้สัญญาณผิดพลาด Δf และ ΔP_{tie} ออกมา จากนั้นจะทำการขยาย และเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณคำสั่ง ΔP_V ซึ่งจะถูกส่งไปยังควบคุมวาล์วไอน้ำให้ลดหรือเพิ่มไอน้ำที่เข้าไปสู่กังหันเป็นการปรับเปลี่ยนแรงบิด ให้กำลังที่ออกมาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจน ค่าความถี่และกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายเชื่อมต่อมีค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์

2.1.3 ตัวควบคุมแรงดัน

การควบคุมแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีจุดประสงค์เพื่อควบคุมแรงดันด้านออกให้คงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออกจะถูกตรวจจับโดยเซ็นเซอร์ ซึ่งจะได้เป็นสัญญาณผิดพลาด ΔV ซึ่งจะถูกส่งไปควบคุมการจ่ายแรงดันของเครื่องกระตุ้นของขดลวดสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาออก จนค่าแรงดันมีความผิดพลาดเป็นศูนย์

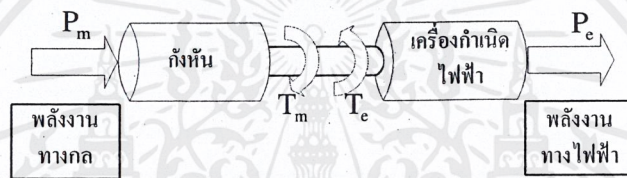
2.2 แบบจำลองระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 ขนาดเวลาของปรากฏการณ์ในระบบไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของระบบไฟฟ้า เราจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนส่วนประกอบต่างๆในระบบไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, กังหัน, กัลป์วานอร์, โหลด เป็นต้น และการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบส่วนมากจะดำเนินการในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมเฉพาะ ผู้ใช้จึงต้องกำหนดและเลือกรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีและกำหนดข้อมูลที่จะใส่ในอุปกรณ์ต่างๆ การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมจะขึ้นกับช่วงเวลาของปัญหาที่กำลังวิเคราะห์ รูปที่ 2.2 [2] แสดงหลักเกณฑ์ของเวลาในการทำงานในระบบไฟฟ้าที่แสดงบนขนาดของเวลาแบบลอการิทึมตั้งแต่ไมโครวินาทีจนถึงเป็นชั่วโมง โดยแบบจำลองของส่วนต่างๆในระบบไฟฟ้าจะมีดังนี้

2.2.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Generator Model)



รูปที่ 2.3 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส [3] ซึ่งจะมีแรงบิดที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนก็คือ T_a ซึ่งค่า T_a จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างแรงบิดทางกล และแรงบิดทางไฟฟ้างดสมการ

$$T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

โดย

T_a คือ แรงบิดเร่ง (Accelerating Torque), (N.m)

T_m คือ แรงบิดทางกล (Mechanical Torque), (N.m)

T_e คือ แรงบิดทางไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (Electrical Torque Output), (N.m)

จากสมการข้างต้นค่า T_m และ T_e จะมีค่าเป็นบวกในกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

เมื่อนำค่าความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Inertia of Generator) และต้นกำลัง (Prime Mover) มารวมกับสมการแรงบิดจะมีสมการดังนี้

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_a = T_m - T_e \quad (2.2)$$

โดย

J คือ ค่ารวมของความเฉื่อยชั่วขณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และต้นกำลัง, (kg.m^2)

ω_m คือ ความเร็วเชิงมุมทางกลของโรเตอร์, (rad/s)

t คือ เวลา, (S)

จากสมการ (2.2) โดยปกติแล้วจะอยู่ในรูปตัวแปรค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant: H) ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราความเร็วหารด้วย VA base ค่า ω_{0m} จะให้เป็นความเร็วซิงโครนัสทางกล มีหน่วยเป็น rad/s ค่าคงที่ความเฉื่อยมีค่า

$$H = \frac{1}{2} \frac{J \omega_{0m}^2}{VA_{base}} \quad (2.3)$$

ค่าความเฉื่อยชั่วขณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (J) ในรูปตัวแปร (H) คือ

$$J = \frac{2H}{\omega_{0m}^2} VA_{base} \quad (2.4)$$

แทนสมการ (2.4) ในสมการ (2.2) จะได้

$$\frac{2H}{\omega_{0m}^2} VA_{base} \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.5) จัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$2H \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega_m}{\omega_{0m}} \right) = \frac{T_m - T_e}{VA_{base}/\omega_{0m}}$$

สมมติให้ค่า $T_{base} = VA_{base}/\omega_{0m}$ สมการการเคลื่อนที่ต่อหน่วยคือ

$$2H \frac{d\bar{\omega}_r}{dt} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.6) ค่า $\bar{\omega}_r$ มีค่าเท่ากับ

$$\bar{\omega}_r = \frac{\omega_m}{\omega_{0m}} = \frac{\omega_r/P_f}{\omega_0/P_f} = \frac{\omega_r}{\omega_0} \quad (2.7)$$

โดย

ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์, (rad/s)

ω_0 คือ ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed), (rad/s)

P_f คือ จำนวนของขั้วสนาม (Field Poles)

ถ้า δ คือมุมโรเตอร์ (Rotor Angle), (rad) และค่า δ_0 คือมุมโรเตอร์ที่ $t = 0$

$$\delta = \omega_r t - \omega_0 t + \delta_0 \quad (2.8)$$

จากสมการ (2.8) หาความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาจะได้

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_r - \omega_0 = \Delta\omega_r \quad (2.9)$$

และ

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{d(\Delta\omega_r)}{dt} = \omega_0 \frac{d\bar{\omega}_r}{dt} = \omega_0 \frac{d(\Delta\bar{\omega}_r)}{dt} \quad (2.10)$$

แทนค่า $d\bar{\omega}_r/dt$ ในสมการ (2.6) จะได้

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (2.11)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (P) และแรงบิด (T) แสดงในสมการ

$$P = \omega_r T \quad (2.12)$$

ถ้าพิจารณาถึงค่าความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จากค่าเริ่มต้นเราสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} P &= P_0 + \Delta P \\ T &= T_0 + \Delta T \\ \omega_r &= \omega_0 + \Delta\omega_r \end{aligned} \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.12) จะได้

$$P_0 + \Delta P = (\omega_0 + \Delta\omega_r)(T_0 + \Delta T)$$

เราจะได้

$$\Delta P = \omega_0 \Delta T + T_0 \Delta\omega_r \quad (2.14)$$

ดังนั้นจะได้

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 (\Delta T_m - \Delta T_e) + (T_0 + \Delta T) \Delta\omega_r \quad (2.15)$$

ในสภาวะคงตัว (Steady State) แรงบิดทางไฟฟ้าและทางกลจะมีค่าเท่ากัน ($T_{m0} = T_{e0}$) ดังนั้น

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \Delta T_m - \Delta T_e \quad (2.16)$$

โดย

ΔP_m คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังทางกล

ΔP_e คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังทางไฟฟ้า

จากสมการการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะได้ตั้งสมการที่ (2.17)

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2 \Delta\delta}{dt^2} = \Delta P_m - \Delta P_e \quad (2.17)$$

เมื่อพิจารณาในเทอมของความเร็วจึงได้

$$\frac{d\Delta\omega_r/\omega_0}{dt} = \frac{1}{2H} (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2.18)$$

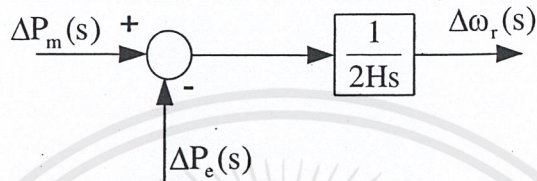
เมื่อพิจารณาที่ความเร็วหน่วยต่อหน่วย ($\omega_0 = 1$) ดังนั้น

$$\frac{d\Delta\omega_r}{dt} = \frac{1}{2H} (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2.19)$$

เมื่อทำการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ที่สมการ (2.19) จะได้

$$\Delta\omega_r(s) = \frac{1}{2Hs}(\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s)) \quad (2.20)$$

จากสมการ (2.20) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.2 แบบจำลองโหลด (Load Model)

โหลดในระบบไฟฟ้าคืออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆในระบบซึ่งมี 2 ประเภท คือ โหลดตัวต้านทาน เช่น หลอดไฟ และโหลดที่ให้ความร้อน ซึ่งพวกนี้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปจะไม่ขึ้นกับความถี่ แต่โหลดประเภทมอเตอร์กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ พวกนี้เมื่อความถี่เปลี่ยนไปจะทำให้ความเร็วรอบของโหลดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น โหลดทางไฟฟ้าจะประกอบได้ดังสมการ (2.21) [1]

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega_r \quad (2.21)$$

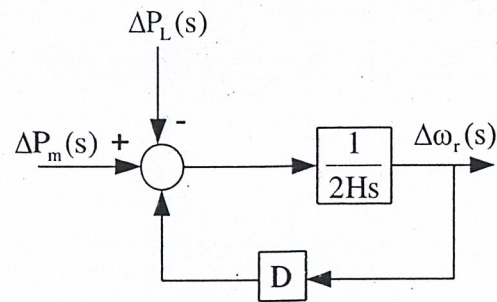
โดย

ΔP_L คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่ไม่ขึ้นกับความถี่

$D\Delta\omega_r$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่ขึ้นกับความถี่

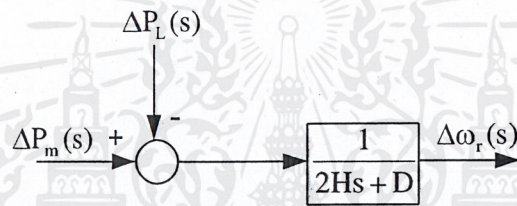
D คือ สัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping Coefficient)

ค่าคงที่ของการหน่วงจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของโหลดต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ค่ามาตรฐานของ D คือ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ค่าของ D เท่ากับ 2 หมายถึง เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงไป 1% จะทำให้โหลดเปลี่ยนแปลงไป 2% ดังนั้นบล็อกไดอะแกรมของโหลดที่ต่อกับบล็อกไดอะแกรมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของโหลต

ทำการลดรูปได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของโหลตแบบลดรูป

2.2.3 แบบจำลองต้นกำลัง (Prime Mover Model)

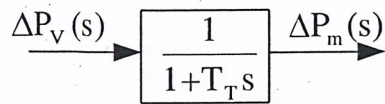
ต้นกำลัง คือ แหล่งกำเนิดของแรงทางกลที่นำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นกังหันน้ำที่ใช้ที่เขื่อน กังหันไอน้ำที่รับไอน้ำจากการเผาถ่านหิน, แก๊สจากพลังงานนิวเคลียร์และกังหันก๊าซ แบบจำลองของกังหันจะเป็นอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงกำลังต้านออก ΔP_m กับการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วก๊าซ ΔP_V ซึ่งเขียนสมการความสัมพันธ์ของต้นกำลังแบบง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$G_T(s) = \frac{\Delta P_m(s)}{\Delta P_V(s)} = \frac{1}{1+T_T s} \quad (2.22)$$

โดย

T_T คือ ค่าเวลาคงตัวของวาล์ว

เขียนบล็อกไดอะแกรมสำหรับต้นกำลังอย่างง่ายได้ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของต้นกำลัง

2.2.4 แบบจำลองกัลวานอร์ (Governor Model)

เมื่อโหลดไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้นจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจะมีค่ามากกว่าพลังงานกลที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้ความเร็วของกังหันตกลงทำให้ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟาลดลง โดยหน้าที่ของกัลวานอร์จะเป็นตัวตรวจจับความถี่ที่เปลี่ยนไปจากความถี่ปกติ และสั่งการไปยังวาล์วไอน้ำป้อนเข้าเพื่อปรับตำแหน่งของวาล์ว เป็นการเปลี่ยนแปลงแรงทางกลที่ป้อนเข้าไป ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วเปลี่ยนแปลง จนเข้าสู่สภาวะคงตัวใหม่

กัลวานอร์รุ่นแรกจะเป็นวัตต์กัลวานอร์โดยใช้แรงทางกลเป็นตัวตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ ส่วนกัลวานอร์รุ่นใหม่จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป ในการทำงานปกติจะออกแบบให้ค่าความเร็วที่ตกลงมีค่าต่ำสุดเท่ากับค่าโหลดที่เพิ่มขึ้น คุณลักษณะการทำงานของกัลวานอร์จะแสดงดังรูป 2.8

ความชันของกราฟจะแสดงถึงความเร็วที่กำหนด R โดยทั่วไปจะมีค่า 5-6 % เมื่อเอาท์พุทของกัลวานอร์จะไปปรับแรงทางกล ซึ่ง ΔP_g มีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่างพลังงานขาออกที่ตั้งไว้ ΔP_{ref} และพลังงาน $\frac{1}{R} \Delta \omega_r$ ที่ได้จากกราฟคุณลักษณะความเร็วของกัลวานอร์

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta \omega_r \quad (2.23)$$

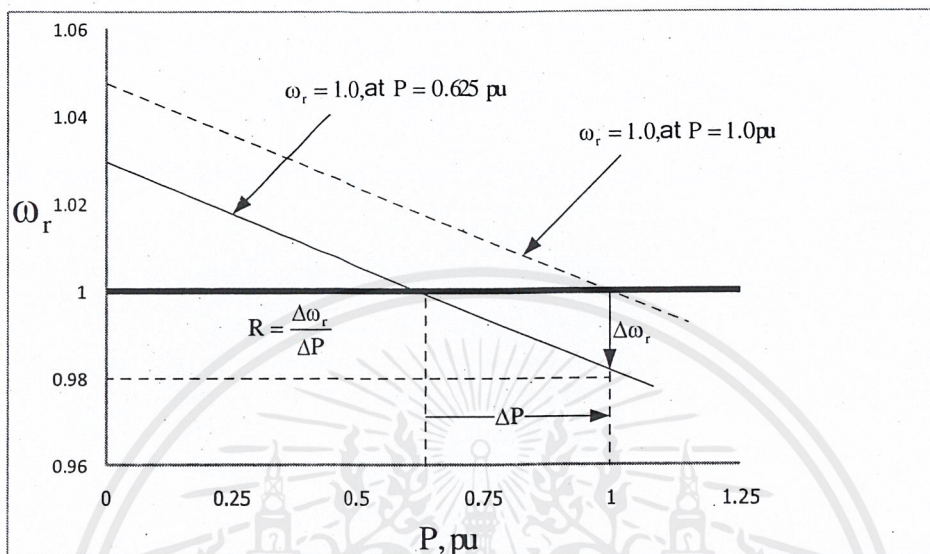
หรือในเทอมของ S

$$\Delta P_g(s) = \Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta \omega_r(s) \quad (2.24)$$

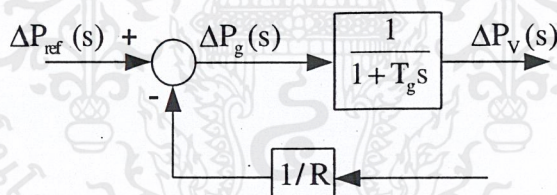
โดย ΔP_g จะเป็นคำสั่งให้ไปเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวาล์วไอน้ำ ΔP_v เมื่อให้ค่าคงที่ทางเวลาของกัลวานอร์เท่ากับ T_g จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔP_g และ ΔP_v ดังนี้

$$\Delta P_v(s) = \frac{1}{1+T_g s} \Delta P_g(s) \quad (2.25)$$

สมการที่ (2.24) และ (2.25) จะเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.9

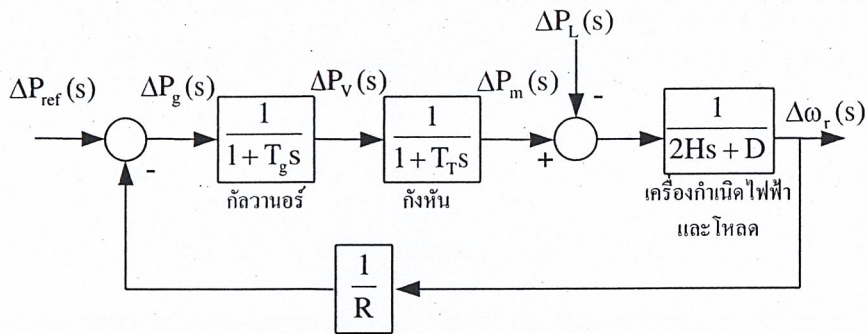


รูปที่ 2.8 กราฟคุณลักษณะของกัลวานอร์



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของกัลวานอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบเดี่ยว

แผนภาพบล็อกไดอะแกรมแบบสมบูรณ์สำหรับระบบเดี่ยวจะแสดงดังรูปที่ 2.10 เมื่อมีค่าการเปลี่ยนแปลงของโหลด ΔP_L และมีการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น $\Delta \omega_r(s)$ จะได้ค่าเอาต์พุตในแผนภาพบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.11 ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงเปิดของแผนภาพบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.11 จะเป็น

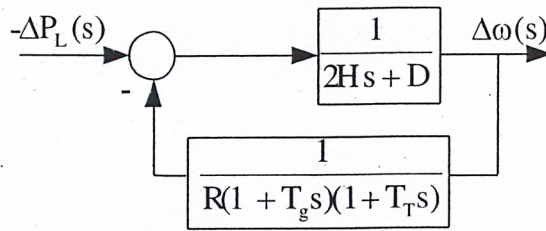
$$KG(s)H(s) = \frac{1}{R} \frac{1}{(2Hs+D)(1+T_g s)(1+T_T s)} \quad (2.26)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิดที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงโหลด ΔP_L ที่การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น $\Delta \omega_r(s)$ เท่ากับ

$$\frac{\Delta \omega_r(s)}{-\Delta P_L(s)} = \frac{(1+T_g s)(1+T_T s)}{(2Hs+D)(1+T_g s)(1+T_T s)+1/R} \quad (2.27)$$

หรือ

$$\Delta \omega_r(s) = -\Delta P_L(s)T(s) \quad (2.28)$$



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมความถี่ที่มีอินพุทคือ $\Delta P_L(s)$ และเอาต์พุทคือ $\Delta \omega_r(s)$

เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได $\Delta P_L(s) = \Delta P_L/s$ ทฤษฎีค่าสุดท้ายเพื่อหาค่าสถานะคงตัวของ $\Delta \omega_r$ เป็น

$$\Delta \omega_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Delta \omega_r(s) = (-\Delta P_L) \frac{1}{D+1/R} \quad (2.29)$$

ถ้าในกรณีที่ไม่มีโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ ($D = 0$) ในภาวะคงตัวจะได้เป็น

$$\Delta \omega_{ss} = (-\Delta P_L)R \quad (2.30)$$

เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลาย ๆ ตัว จะมีค่าทรูปของกัลวานอร์หลาย ๆ ตัวคือ R_1, R_2, \dots, R_n

$$\Delta \omega_{ss} = (-\Delta P_L) \frac{1}{D + \frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad (2.31)$$

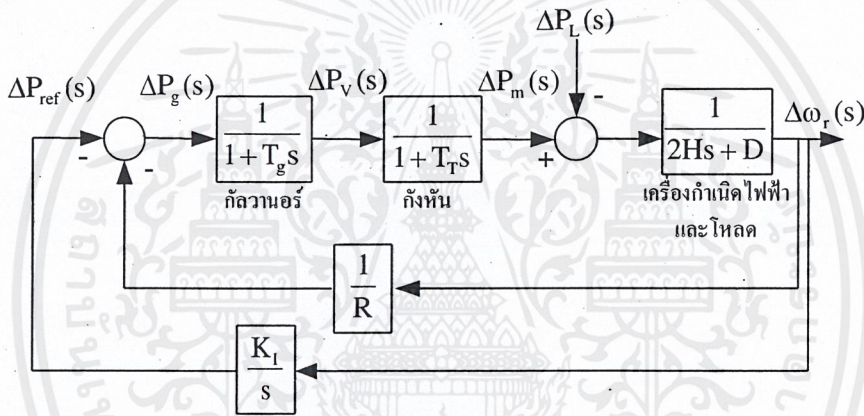
2.2.5. ตัวควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ

เมื่อโหลดในระบบไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วของกังหันที่เครื่องกำเนิดไฟฟาลดลงก่อนที่จะทำการปรับให้วาล์วไอน้ำเปิดมากขึ้น เพื่อเพิ่มความเร็วสำหรับโหลดตัวใหม่ โดยจะมีตัวควบคุมที่สั่งการอัตโนมัติ หรือ (Automatic Generation Control: AGC) เป็นตัวควบคุมและจะทำหน้าที่แบ่งโหลดในระบบไฟฟ้า โดยจะคำนึงถึงความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ และความปลอดภัย และยังควบคุมการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สายส่งเชื่อมต่อให้เป็นไปอย่างถูกต้องและรักษาความถี่ให้อยู่ในสภาวะปกติ

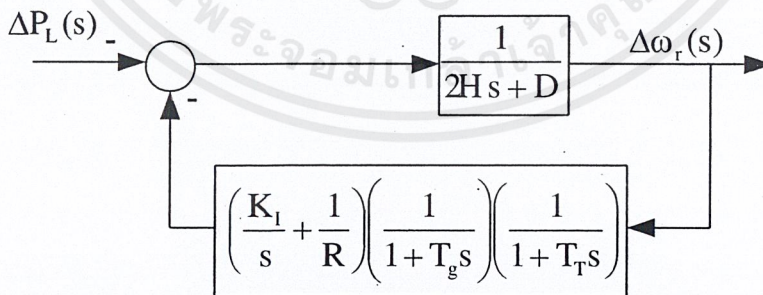
2.2.6 AGC ในระบบพื้นที่เดียว

ในการที่จะลดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ให้เป็นศูนย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ จะมีตัวควบคุมโดยสั่งให้ควบคุมเป็นลูป โดยระบบจะเพิ่มค่าที่ละหนึ่ง และสุดท้ายจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นศูนย์ ในระบบการควบคุมความถี่ในรูปที่ 2.12 ตัวควบคุมที่สำคัญคือค่าเกน k_I ที่ต้องปรับเพื่อให้ได้ผลตอบสนองชั่วคราวที่ดี แล้วทำการรวมกับค่าตรูปในกึ่งที่ขนาดกัน ดังแผนภาพบล็อกไดอะแกรมซึ่งจะแสดงฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิดของระบบดังรูปที่ 2.13 โดยที่ $-\Delta P_L$ เป็นค่าป้อนเข้าจะได้

$$\frac{\Delta\omega_r(s)}{-\Delta P_L(s)} = \frac{s(1+T_g s)(1+T_T s)}{s(2Hs+D)(1+T_g s)(1+T_T s)+k_I+s/R} \quad (2.32)$$



รูปที่ 2.12 AGC ของระบบเดี่ยว



รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมโดยประมาณของ AGC ระบบเดี่ยว

119424

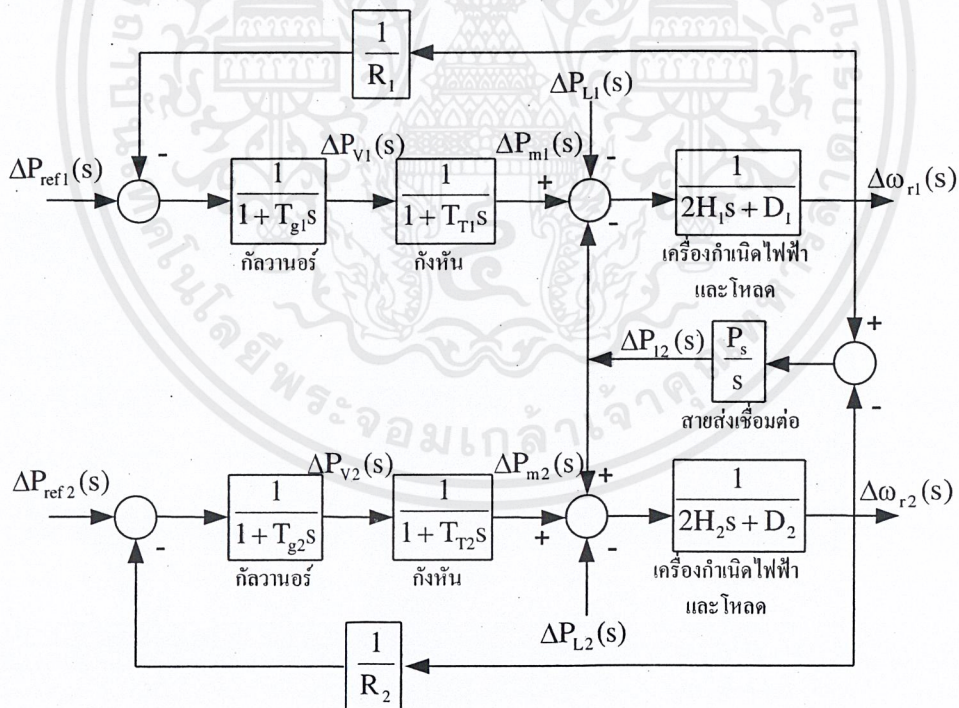
2.2.7 AGC ในระบบหลายพื้นที่

ในระบบหลายพื้นที่ที่กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีลักษณะการทำงานที่ทำงานไปพร้อมกันคือเชื่อมต่อกัน ซึ่งสามารถพิจารณาจากระบบ 2 พื้นที่ ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อที่ไม่คิดการสูญเสียและมีค่ารีแอกแตนซ์เท่ากับ X_{tie} พลังงานที่ถ่ายทอดผ่านสายส่งเชื่อมต่อจะเป็นไปตามสมการ (2.33)

$$P_{12} = \frac{|E_1||E_2|}{x_{12}} \sin \delta_{12} \quad (2.33)$$

เมื่อ $x_{12} = x_1 + x_{tie} + x_2$ และ $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$

พลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อจะมีทิศทางไหลเป็นไปตามมุมต่างเฟสของ 2 พื้นที่ โดยถ้า $\Delta\delta_1 > \Delta\delta_2$ พลังงานก็จะไหลจากพื้นที่ 1 ไปสู่พื้นที่ 2 หมายความว่า โหลดในพื้นที่ 1 ลด และโหลดในพื้นที่ 2 เพิ่ม แผนภาพบล็อกไดอะแกรมสำหรับระบบ 2 พื้นที่ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบ 2 พื้นที่ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ

2.2.8 การควบคุมพลังงานในสายส่งเชื่อมต่อ

ในระบบ 2 พื้นที่ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในสายส่งเชื่อมต่อ และการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในพื้นที่ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการควบคุมพลังงานในสายส่งเชื่อมต่อก็คือ เพื่อจะลดค่าความผิดพลาดในการควบคุมให้เป็นศูนย์ (Area Control Error: ACE) เมื่อการควบคุมความผิดพลาดสำหรับหลายพื้นที่ประกอบด้วย ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงความถี่และการเปลี่ยนแปลงในสายส่งเชื่อมต่อ

$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{ij} + k_i \Delta \omega \quad (2.34)$$

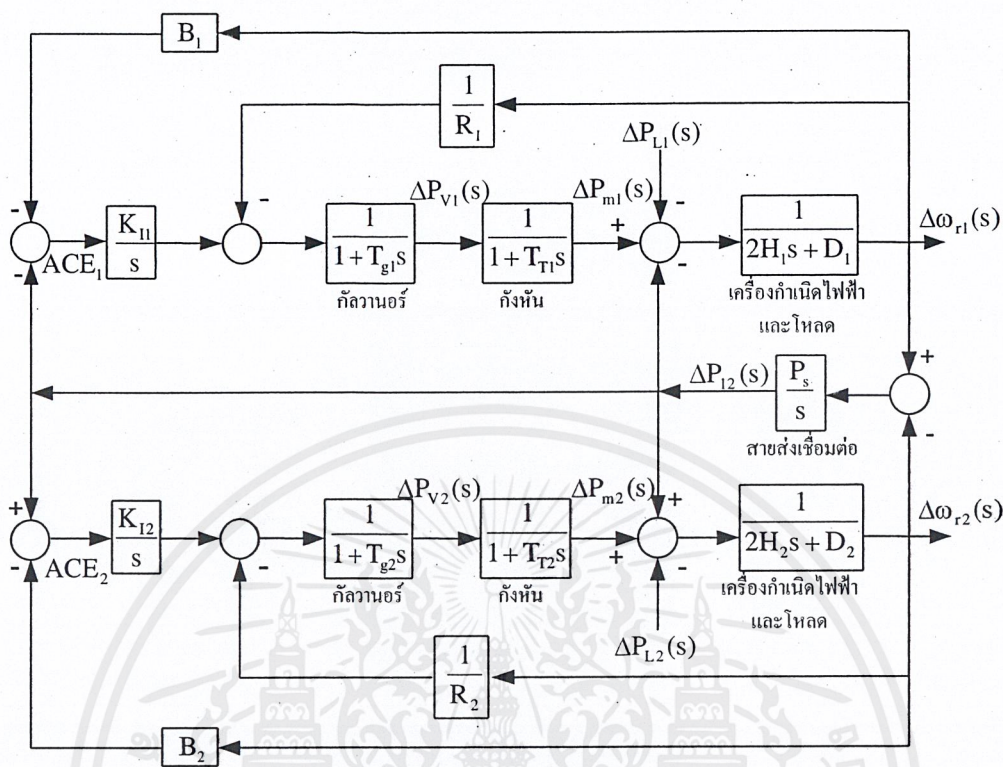
ค่าขยายของพื้นที่ k_i กำหนดจากผลตอบสนองของการรบกวนในพื้นที่ข้างๆ โดยมีค่าที่เหมาะสมคือเท่ากับค่า frequency bias factor ของพื้นที่ $B_i = \frac{1}{R_i} + D_i$ ดังนั้น ACE สำหรับสองพื้นที่จะเป็น

$$\begin{aligned} ACE_1 &= \Delta P_{12} + B_1 \Delta \omega_1 \\ ACE_2 &= \Delta P_{21} + B_2 \Delta \omega_2 \end{aligned} \quad (2.35)$$

โดย

$$B_i = \frac{1}{R_i} + D_i = \text{Frequency Bias Factor}$$

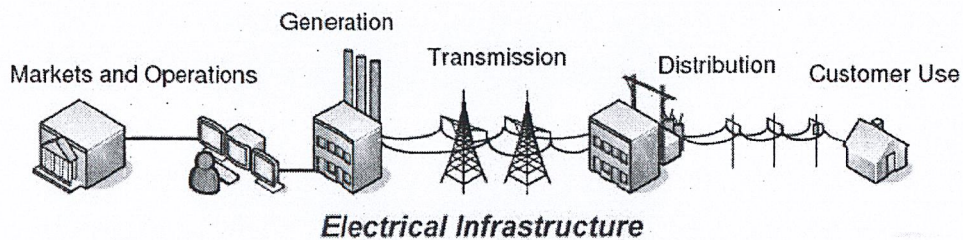
ดังนั้น ACE จะถูกให้เป็นสัญญาณที่จุดอ้างอิงของพลังงานเพื่อเปรียบเทียบกับพลังงานในระบบ และทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ΔP_{12} และ $\Delta \omega$ จะต้องเป็น 0 แสดงแผนภาพบล็อกไดอะแกรมของระบบ 2 พื้นที่ที่มี ACE ในรูป 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบ 2 พื้นที่ที่มี ACE

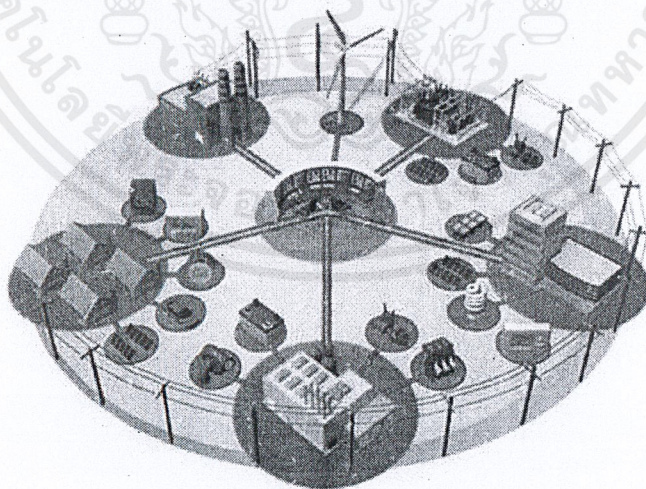
2.3 ระบบสมาร์ตกริด (Smart Grid System)

ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ในปัจจุบันนั้น ยังเป็น ระบบเดิมซึ่งใช้เทคโนโลยีที่คิดค้นขึ้นเมื่อประมาณ 125 ปีที่แล้ว นับตั้งแต่มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าครั้งแรกก็ยังไม่เคยมีการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ๆ เกิดขึ้นเลย ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เรียกว่า ระบบกริด (Grid) นี้เป็นการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบทิศทางเดียว (One Way Communication) คือ จากเครื่องผลิตไฟฟ้า (Generator) ผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมา ส่งผ่านสายส่ง (Transmission Line) และระบบจำหน่ายไฟฟ้าย่อย (Distribution System) ไปยังผู้ใช้ปลายทาง ซึ่งการส่งจ่าย ระบบไฟฟ้าในรูปแบบนี้ ทำให้เกิดความสูญเสีย (Loss) ขึ้น ในระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมากเนื่องจากระยะทางในการส่งจ่ายที่ไกลจากการใช้งาน นอกจากนั้นยังมีความยุ่งยากในการ ปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่การไฟฟ้า ในการแก้ไขเมื่อกระแสไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบ ในการจดหน่วยมิเตอร์ไฟฟ้าก็ต้องส่งพนักงานออกไป เพื่อจดบันทึกการใช้งานซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองแรงงานเป็นอย่างมาก อีกทั้งระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้อาจมีการโกงการใช้ไฟฟ้าได้ โดยที่การไฟฟ้าไม่สามารถตรวจสอบได้ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) จะเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่มาเปลี่ยนระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีความทันสมัยมากขึ้น รูปที่ 2.16 แสดงระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน



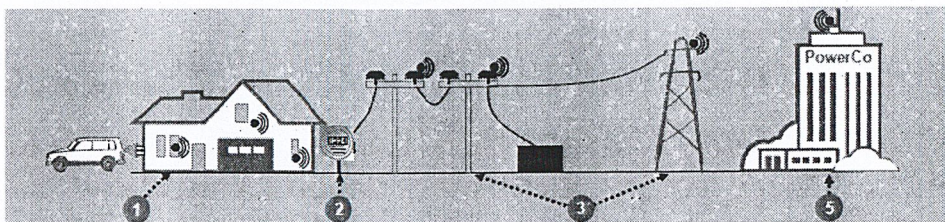
รูปที่ 2.16 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) คือการสร้างเครือข่ายระบบไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้งาน ผ่านระบบการสื่อสาร และนำข้อมูลมาประมวลผลร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการขนส่ง, เพิ่มเสถียรภาพ, ประหยัดและปลอดภัยให้กับระบบไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะเปลี่ยนมาเป็นระบบส่งจ่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ได้นั้น ไม่ใช่แค่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างเดียว แต่จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาจากเวลาจริง มาใช้ในการควบคุมการผลิตและการใช้ไฟฟ้า ในรูปที่ 2.17 แสดงโครงข่ายโดยรวมของระบบสมาร์ทกริด และในรูปที่ 2.18 แสดงโครงข่ายของระบบสมาร์ทกริดพร้อมรายละเอียดและแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบไฟฟ้าแบบเก่ากับระบบสมาร์ทกริดในตารางที่ 2.1 [4]



รูปที่ 2.17 โครงข่ายโดยรวมของระบบสมาร์ทกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 โครงข่ายของระบบสมาร์ทกริด

รายละเอียดของโครงข่ายสมาร์ทกริด

1. การประยุกต์ที่ผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Applications)
 - แสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า
 - ควบคุมใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด เช่น PHEV, ปั๊ม ความร้อน เครื่องอบผ้า เป็นต้น
2. สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter)
 - แสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้งานและการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของผู้ผลิต
 - ควบคุมการตัดหรือต่อการจ่ายไฟฟ้าจากระยะไกล
3. การประยุกต์ระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Grid Applications)
 - ควบคุมการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
 - ลดการสูญเสียในสายส่ง
 - แสดงผลระยะไกล
 - ควบคุมความเหมาะสมในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น
 - ลดการซ่อมบำรุง
4. ปรับปรุงพลังงานทดแทน, การกระจายพลังงานไฟฟ้าและรถยนต์ไฟฟ้า (Better Integration of Renewable, Distributed Energy and Electric Vehicle)
 - รวบรวมพลังงานสำรอง, สะสมพลังงาน, พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
 - ตัดการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ภาระเกิน (Overload) เพื่อความปลอดภัย
 - การชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับเครือข่ายเพื่อสะสมพลังงานให้กับเครือข่ายและส่งจ่ายคืนในช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด
5. เก็บข้อมูล, ประมวลผลและส่งกลับสำนักงาน (Data Collection, Processing and Back Office)
 - รวบรวมสิ่งที่ประมวลผลมาตั้งแต่ต้นทางการผลิตถึงปลายทางที่ผู้ใช้งาน เพื่อสั่งการให้อุปกรณ์ในระบบเครือข่ายทำงานอย่างเที่ยงตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไปและสมาร์ทกริด

| หัวข้อเปรียบเทียบ | ระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป | สมาร์ทกริด |
|------------------------------------|---|---|
| การผลิตไฟฟ้า | จากแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักที่มาจากศูนย์กลาง (Centralized) | จากแหล่งผลิตหลักและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยเฉพาะแหล่งพลังงานลมและแสงอาทิตย์ที่พลังงานไม่สม่ำเสมอ |
| การไหลของกำลังไฟฟ้า | ไหลทิศทางเดียวจากแหล่งผลิตไปยังโหลด | ไหลได้หลายทิศทางเพราะมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระจายอยู่ทั่วทั้งระบบ |
| การติดต่อสื่อสาร | ทิศทางเดียวจากผู้ผลิตไฟฟ้าไปยังผู้ใช้หรืออาจไม่มีการติดต่อสื่อสาร ไม่เป็นการสื่อสารแบบตอบสนองเวลาจริง (Real Time) และมีข้อจำกัด | สองทิศทางระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าไปยังผู้ใช้และเป็นการสื่อสารแบบตอบสนองตรงเวลา (Real Time) |
| พฤติกรรมของระบบ | สามารถทำนายได้โดยอ้างอิงจากข้อมูลในอดีต | ไม่สามารถทำนายได้เนื่องจากทำงานจากข้อมูลที่ตอบสนองในเวลาจริง |
| ความน่าเชื่อถือของระบบ | เมื่อมาสามารถป้องกันสิ่งที่เข้ามารบกวนระบบได้แล้ว มีแนวโน้มที่ระบบจะขัดข้องต่อเนื่องกัน (Cascading Outages) | สามารถป้องกันระบบได้อย่างอัตโนมัติก่อนที่ระบบจะเกิดการขัดข้อง |
| การต่อเข้าถึงระบบของผู้ใช้ไฟ | ถูกจำกัดไว้สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายใหม่ | เข้าได้อย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพ |
| ลักษณะการผลิตไฟฟ้า | การผลิตไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับโหลด | กำลังไฟฟ้าที่โหลดจะตามการผลิตของกำลังไฟฟ้า |
| การฟื้นตัวของระบบหลังเกิดสิ่งรบกวน | ฟื้นด้วยตัวผู้ปฏิบัติงาน (Manual) | ฟื้นด้วยตัวระบบเอง (Self-healing) |
| ลักษณะการต่อสายส่งในระบบ | แบบรัศมี (Radial) | แบบโครงข่าย (Network) |
| ลักษณะของมิเตอร์ | ทางกลไฟฟ้า (Electromechanical) | ดิจิทัล (Digital) ซึ่งสามารถทำงานได้แบบตอบสนองตรงเวลาหรือมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อดี

- การใช้เทคโนโลยี Smart grid ทำให้ผู้จ่ายไฟรู้สึกภาวะความต้องการไฟฟ้าอย่างเรียลไทม์ ช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถตรวจสอบได้อย่างชัดเจนว่าตนเองใช้ไฟไปมากน้อยเพียงใด ในช่วงเวลาใดบ้าง และจะต้องจ่ายค่าไฟเท่าใด มีผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อผู้บริโภคสามารถ ตรวจสอบค่าไฟฟ้าได้เกือบจะเรียลไทม์เช่นนี้ จะช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงประมาณ 10-15% เลยทีเดียว และยังมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปใช้ไฟในช่วงที่มีการใช้ไฟน้อยกว่าปกติซึ่งมีการคิดค่าไฟถูกกว่า

- มีการจัดการกระแสไฟฟ้าที่อาจเกิดการไหลล้นมากเกินไป หรือหม้อแปลงระเบิดได้น้อยลงมาก

- ผู้ใช้สามารถรู้ค่าไฟฟ้าสะสมที่เกิดขึ้นจากตัวมิเตอร์หรือเข้ามาดูทางอินเตอร์เน็ต

- การคิดค่าไฟฟ้าสามารถทำแบบฉลาดได้ คือค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างกันให้มีราคาที่แตกต่างกันได้ เช่นช่วงหัวค่ำก็คิดแพงๆ ดึกๆ ถึงเช้ามีดึกก็คิดแบบถูกๆ คนใช้ก็รู้ราคาและสามารถเช็คได้โดยตรงจาก web site เลย

- อาจใช้ระบบ Pre-paid คล้ายการเติมเงินของโทรศัพท์มือถือก็ได้ ลูกค้ายาจอาศัยช่วง Promotion ไปซื้อบัตรเติมเงิน เพื่อใช้ไฟฟ้าในช่วงที่ราคาถูกๆ เช่น ให้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่คนใช้น้อย

กรณีที่กล่าวข้างต้นจะต้องมีการรวมระบบสมาร์ทกริดเข้ากับมิเตอร์อัจฉริยะ และปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยอุปกรณ์ควบคุมพลังงานภายในบ้าน จะทำให้โอกาสในการสร้างสิ่งใหม่จะเกิดขึ้นอีกมากมายตามที่กล่าวไป โดยระบบดังกล่าว นอกจากผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้ประโยชน์แล้ว ทางผู้ผลิตกระแสไฟฟ้าหรือตัวแทนจำหน่ายสามารถก็ได้ประโยชน์เช่นกันคือ

- ลดต้นทุนในการสำรองไฟฟ้า

- ลดปัญหาไฟดับในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก

- ลดจำนวนพนักงานในการออกไปดูมิเตอร์ หากผู้ใช้ค้างชำระเกินกำหนด ผู้จ่ายไฟสามารถส่งระบบการจ่ายไฟฟ้าจากระยะไกลได้ หรือสั่งให้มีการจ่ายไฟตามปกติได้ โดยไม่ต้องเดินทางไปตรวจดู

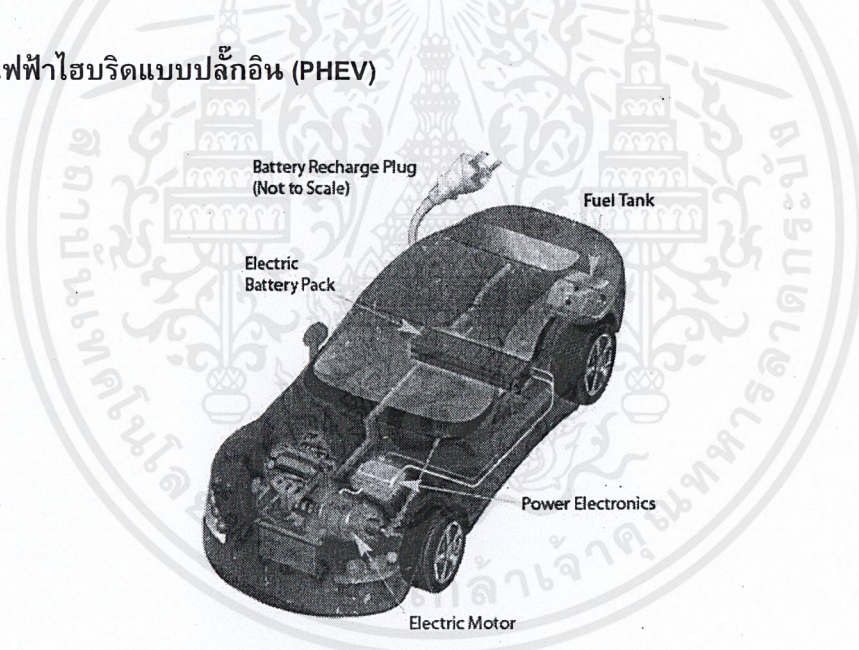
- มีประโยชน์ในการแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบจ่ายไฟ

ดังนั้น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) จะเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่จะมาเปลี่ยนรูปแบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีความทันสมัยมากขึ้น รวมไปถึงการปรับปรุงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าตามผลการวิเคราะห์และประมวลผลของซอฟต์แวร์ ทำให้ผู้ใช้บริการเห็นถึงประโยชน์ที่ได้รับและสามารถตระหนักในความสำคัญของการลดพลังงาน และใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

- ข้อเสีย

เห็นได้ชัดว่า เทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย สามารถช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถลดพลังงานได้ในระดับที่กล่าวมา แน่หนอนว่าจะต้องมีค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นค่าอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง รวมไปถึงการวางระบบต่างๆ นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดในด้านความแตกต่างของผู้ใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ในวันที่มีอากาศร้อน ผู้ใช้ตามบ้านก็อาจจะปิดไฟ หรือปิดเครื่องใช้ต่างๆ ที่ไม่จำเป็นแล้วเปิดเครื่องปรับอากาศแทน แต่เมื่อเรามองถึงผู้ใช้งานตามโรงพยาบาล หรือในส่วนของสถานที่ที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ สถานที่เหล่านี้ไม่สามารถปรับลดอุณหภูมิลงได้ นอกเสียจากว่า สถานที่เหล่านี้อาจจะเก็บเงินเพิ่มจากคนไข้หรือผู้มาใช้บริการ เพื่อนำมาทดแทนในส่วนนี้ ดังนั้น อาจมองได้ว่า ถึงแม้เราจะลดค่าใช้จ่ายในการลดพลังงานลงได้ แต่ก็อาจจะต้องจ่ายเพิ่มสำหรับสินค้าและบริการจากบริษัทที่ไม่สามารถปรับลดการใช้พลังงานลง นอกจากนี้ จากการที่ระบบมีการเชื่อมโยงกับระบบอินเทอร์เน็ต ทำให้มีความเสี่ยงต่อการถูกเจาะเข้าโปรแกรม สามารถล้วงข้อมูลหรือทำลายระบบจากผู้ไม่หวังดีได้

2.4 รถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (PHEV)



รูปที่ 2.19 รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน

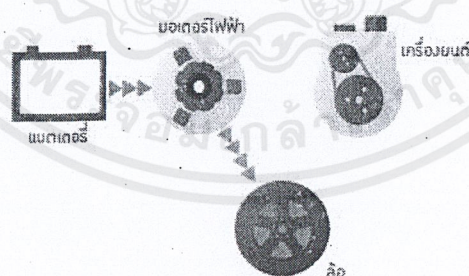
จากวิกฤตน้ำมันแพงและกระตุ้นตัวด้านการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการใช้พลังงานโดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ) เป็นแรงผลักดันให้ทุกประเทศต้องมีการกิจในการลดปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลลง และลดการปล่อยก๊าซพิษออกสู่บรรยากาศ จึงมีความพยายามในการพัฒนาและหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ เพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล

ความจำเป็นดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมและตลาดรถยนต์ทั่วโลก เนื่องจากรถยนต์ขนาดเล็กและประหยัดพลังงานเป็นที่ต้องการมากขึ้น ขณะที่รถยนต์ใหญ่ สิ้นเปลืองน้ำมันมีปริมาณความต้องการที่สวนทางกันอย่างเห็นได้ชัด ประกอบกับปัจจุบัน เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงและรถพลังงานทางเลือกได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่ราคาถูกลง ทำให้ผู้ใช้อยู่ในกำลังที่สามารถซื้อได้ รถยนต์พลังงานทางเลือกจึงน่าจะเป็นแนวโน้มใหม่ในตลาดรถยนต์ในเชิงพาณิชย์

รถยนต์ไฮบริด (Hybrid) เป็นรถลูกผสมที่ใช้เทคโนโลยีระหว่างพลังงาน 2 ระบบ ทำงานร่วมกัน คือพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (เบนซินหรือดีเซล) ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากมอเตอร์ ช่วยส่งกำลังขับเคลื่อนให้แก่ตัวรถ ส่งผลให้รถยนต์ไฮบริดมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึงร้อยละ 25 และช่วยลดมลพิษในอากาศได้ถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแรงขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว

ประสิทธิภาพในการประหยัดเชื้อเพลิงของรถยนต์ไฮบริดจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความสามารถในการลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งต้องอาศัยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เป็นส่วนเสริม โดยมีการทำงานที่สำคัญ 4 อย่าง [5] คือ

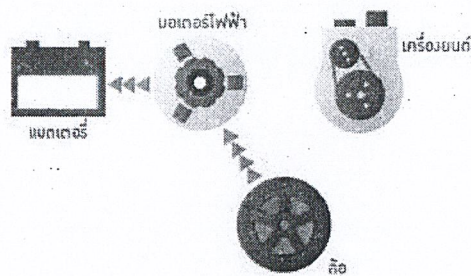
1. เมื่อรถยนต์จอด เครื่องยนต์สันดาปภายในจะไม่ทำงานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและลดการปล่อยมลพิษ เมื่อรถยนต์เริ่มการเคลื่อนที่อีกครั้งจะใช้กำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าในการจุดระเบิดการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรงทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในช่วงแรก และช่วยให้การออกตัวทำได้นุ่มนวลกว่า



ขณะออกตัว

รูปที่ 2.20 การทำงานขณะออกตัว

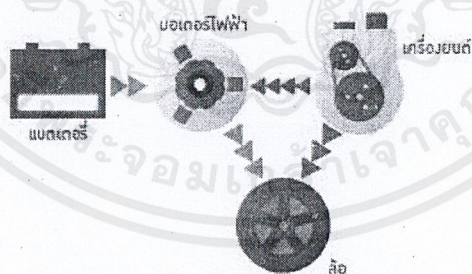
2. เมื่อรถยนต์ชะลอหรือเบรก พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นปกติจะสูญเสียไปในรูปของความร้อน แต่ในรถไฮบริดจะถูกมอเตอร์แปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บเอาไว้ในแบตเตอรี่



ขณะลดความเร็วและเบรก

รูปที่ 2.21 การทำงานขณะลดความเร็วหรือเบรก

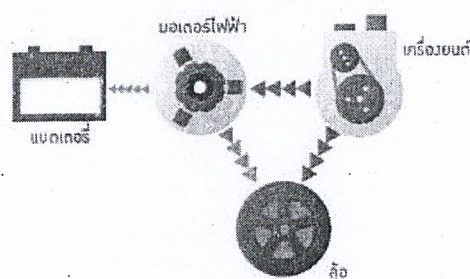
3. การคงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ให้สูงตลอดเวลา ปกติเครื่องยนต์สันดาปภายในมีประสิทธิภาพการทำงานสูงเฉพาะช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าหนึ่งในกรณีนี้ที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบสูง แต่รถยนต์ต้องการกำลังเพียงเล็กน้อยในการขับเคลื่อน พลังงานส่วนเกินที่ได้จากเครื่องยนต์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ ในทางกลับกันถ้ารถยนต์ต้องการกำลังมากขึ้น เช่น ตอนเร่งเครื่องยนต์ การเพิ่มกำลังของรถยนต์จากเครื่องยนต์สันดาปภายในจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานหนักและเกิดมลพิษทางอากาศ การเปลี่ยนมาใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้จากมอเตอร์จะทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องยนต์ลงได้เมื่อเทียบกับรถยนต์ธรรมดา



ขณะเร่งความเร็ว

รูปที่ 2.22 การทำงานขณะเร่งความเร็ว

4. การขับเคลื่อนรถยนต์โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยใช้การขับเคลื่อนกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ขณะที่เครื่องยนต์สันดาปทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าป้อนให้แก่มอเตอร์และแบตเตอรี่อีกทีหนึ่ง ทำให้เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถทำงานที่รอบเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงได้เป็นเวลานาน



ขณะขับขี่ปกติ ด้วยความเร็วคงที่

รูปที่ 2.23 การทำงานขณะขับขี่ด้วยความเร็วคงที่

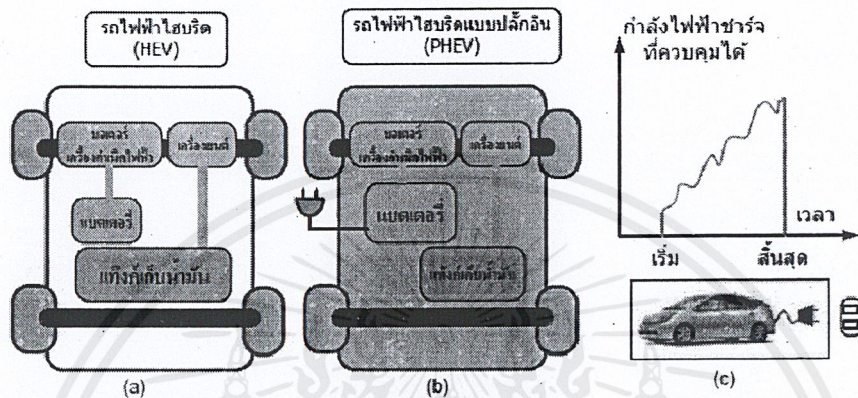
อย่างไรก็ตาม รถยนต์ไฮบริดแต่ละแบบมีความสามารถในการประหยัดพลังงานแตกต่างกัน รถยนต์ที่มีคุณสมบัติในข้อ 1 เพียงประการเดียวจะเรียกว่า “มินิไฮบริด” (Mini Hybrid) มีประสิทธิภาพต่ำสุดและราคาต่ำสุดด้วย ส่วนรถยนต์ที่มีคุณสมบัติครบทั้ง 4 ประการ เรียกว่า “ฟูลไฮบริด” (Full Hybrid) เป็นรถยนต์ที่ได้รับความนิยมสูงสุด เพราะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ขณะที่ราคาแพงกว่ารถยนต์ธรรมดาไม่มากนัก ทั้งนี้รถไฮบริดจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อขับขี่ในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นมากกว่าการขับระยะทางไกลในต่างจังหวัด

Plug-in Hybrids (Plug-in Hybrid Electrical Vehicles หรือ PHEV) หรือเรียกอีกอย่างว่า รถยนต์เสียบปลั๊ก ถือเป็นรถยนต์ที่ผสมผสานการทำงานระหว่างรถไฮบริดกับการชาร์จด้วยระบบไฟฟ้าเข้าด้วยกัน โดยรถจะเริ่มสตาร์ทการทำงานด้วยพลังงานจากเชื้อเพลิงก่อน แล้วจึงวิ่งเติมกำลังด้วยไฟฟ้าที่ชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งการใช้พลังงานทั้ง 2 ชนิดสามารถทดแทนกันได้เมื่อพลังงานชนิดใดชนิดหนึ่งเกิดหมดขึ้นมา

รถยนต์แบบปลั๊กอินได้มีการพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมาจากเครื่องยนต์ไฮบริดให้สามารถเก็บประจุได้มากขึ้น โดยแบตเตอรี่จะให้กำลังไฟในการหมุนมอเตอร์ควบคุมไปกับการใช้เครื่องยนต์เชื้อเพลิงปกติ รถยนต์จะวิ่งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าล้วน ๆ ที่ระยะ 16-100 กิโลเมตรแรกของการใช้งานและเมื่อแบตเตอรี่มีกำลังอ่อนลงก็สามารถชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่ได้โดยการเสียบปลั๊กเข้ากับเต้าเสียบที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป หรือตามเสาชาร์จที่ติดตั้งในที่สาธารณะดังนั้น หากมีการใช้งานวันละไม่เกิน 30 กิโลเมตร และชาร์จไฟที่บ้านเวลากลางคืนก็แทบไม่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันเลย หรือหากต้องวิ่งระยะทางไกลสามารถใช้น้ำมันได้ในระยะ 100 กิโลเมตรแรกของการเดินทาง และเมื่อชาร์จไฟแบบเร็วจะวิ่งต่อไปได้อีกระยะหนึ่ง สำหรับการขับขี่ในระยะไกลรถยนต์ระบบนี้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำมาก และถ้าขับในเมืองด้วยโหมดไฟฟ้าแทบไม่ต่างจากรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเลย

แต่ รถยนต์แบบปลั๊กอินยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ และราคาแพง ขณะที่การชาร์จต้องใช้ระยะเวลาพอสมควรเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สมบูรณ์

2.4.1 แนวคิดการประยุกต์ใช้ PHEV เพื่อทำเสถียรภาพระบบ



รูปที่ 2.24 การเปรียบเทียบระหว่าง HEV, PHEV และกำลังไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) คือรถไฟฟ้า (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ซึ่งประกอบด้วย เครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าที่เพิ่มขนาดแบตเตอรี่ให้ใหญ่ขึ้น สามารถชาร์จไฟจากการเสียบปลั๊กไฟเข้ากับเต้ารับไฟฟ้าภายนอกได้ นอกจากนี้ขนาดของ แบตเตอรี่ก็ยังมีขนาดเล็กลง ดังแสดงในรูป 2.24 ซึ่งได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง HEV และ PHEV แนวคิดที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ ในงานวิจัยนี้คือ เมื่อพิจารณากลุ่ม ของ PHEV จำนวนมากในอนาคตซึ่งติดตั้งอยู่ในด้านผู้ใช้ไฟหรือในระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งกำลังชาร์จไฟ พร้อมกันในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้ามีราคาถูก เช่น ในเวลากลางคืน ที่จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า LFC ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความถี่นั้นลดลง [6] ทำให้สมรรถนะในการควบคุมความถี่ของระบบ นั้นไม่เพียงพอ โดยทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ในการชาร์จไฟเข้าและจ่ายไฟออกของ แบตเตอรี่ ของรถทุกคันพร้อมกันอย่างเหมาะสม หรือใช้ หลักการ Vehicle-to-Grid (V2G) ดัง แสดง ในรูปที่ 2.24(c) ก็จะสามารถใช้ PHEV เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ของระบบร่วมกับเครื่อง กกำเนิดไฟฟ้า LFC ได้

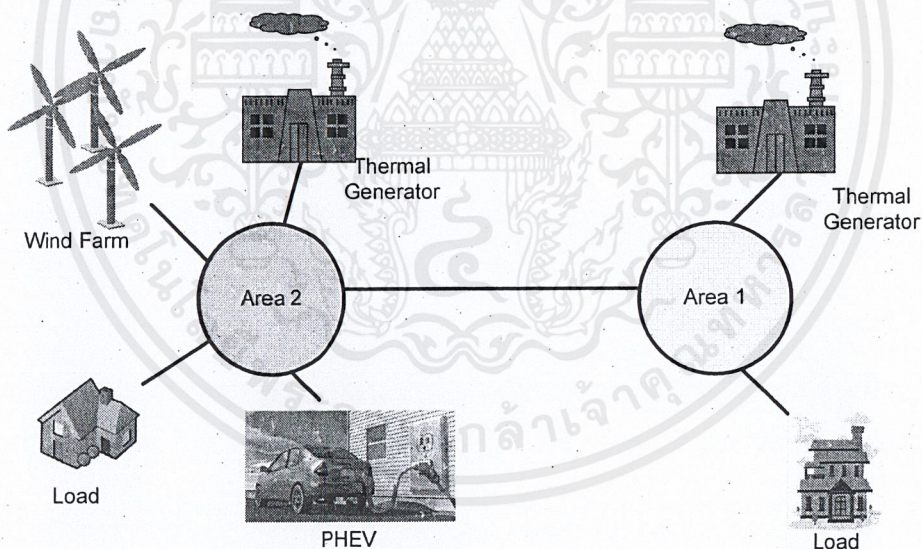
บทที่ 3

การจำลองและการออกแบบ

ในบทนี้จะอธิบายถึง แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบบจำลองของ PHEV และขั้นตอนวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Integrated Area Error

3.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นระบบ 2 พื้นที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยในแต่ละพื้นที่จะมีแหล่งพลังงานหลักคือโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน แต่ในพื้นที่ 2 จะมีการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม และมีการใช้ PHEV ในระบบ อยู่ด้วย จุดประสงค์ของการศึกษาคือการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่ใช้ในพื้นที่ 2 เพื่อช่วยเหลือระบบในการควบคุมความถี่ที่มีปัญหาการแกว่งอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมที่ติดตั้งในระบบ โดยข้อมูลของระบบจะแสดงในตารางที่ 3.1

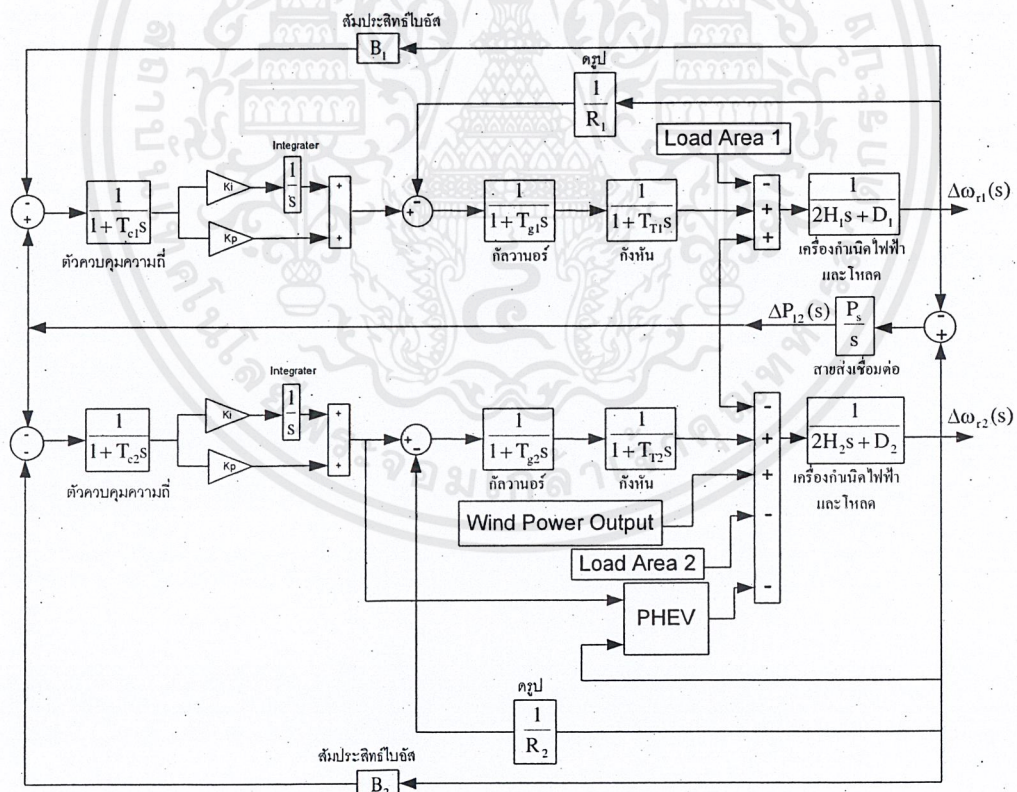


รูปที่ 3.1 ระบบไฟฟ้าสองพื้นที่เชื่อมโยงกันด้วยสายส่ง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของระบบ

| | พื้นที่ 1 | พื้นที่ 2 |
|---|-----------|-------------|
| ขนาดกำลังผลิตของพื้นที่ | 2,000 MW | 2,000 MW |
| กำลังผลิตของโรงไฟฟ้า พลังงานความร้อน | 2,000 MW | 1,000 MW |
| โหลด | 500 MW | 300 MW |
| กำลังผลิตของพลังงานลม | - | 1,000 MW |
| จำนวน PHEV (5kW/คัน) | - | 200,000 คัน |

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของระบบ เราจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนส่วนประกอบต่างๆในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจากระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันด้วยสายส่งจากรูปที่ 3.1 จะสามารถแสดงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นได้ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบจะแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงด้วยสายส่ง

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบ

| พารามิเตอร์ | ค่า |
|--|------|
| ค่าคงที่ความเฉื่อย (H) | 4.5 |
| สัมประสิทธิ์การหน่วง (D) | 2 |
| ค่าเวลาคงตัวของวาล์ว (T_T) | 9 |
| ค่าคงที่ทางเวลาของกังหันพานอร์ (T_g) | 0.25 |
| ค่าดรูป (R) | 0.04 |
| สัมประสิทธิ์ไบอัส (B) | 10 |
| ค่าคงที่ทางเวลาของตัวควบคุมความถี่ (T_c) | 10 |
| ค่าอัตราขยาย K_p | 5 |
| ค่าอัตราขยาย K_i | 0.1 |

3.1.1 แบบจำลองโหลด (Load Model)

โหลดในระบบไฟฟ้า คือ ผลรวมของความต้องการใช้พลังงานและมีความผันผวน ในการใช้ของแต่ละช่วงเวลา โดยที่ความผันผวนของโหลดที่ถูกควบคุมโดย ACE จะถูกกำหนดดังนี้ [7] การวัดความผันผวนของโหลดนั้นจะทำการวัดผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำและผลที่ผ่านตัวกรองจะถูกนำมาลบจากค่าเดิม

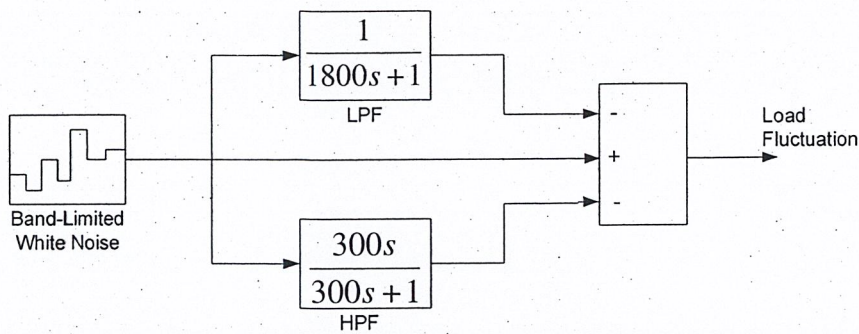
ดังนั้นแบบจำลองของโหลดแบบพลวัตจะมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ส่วนหลักของโหลดจะพิจารณาด้วยการคูณแหล่งจ่ายสัญญาณแบบสุ่ม (White Noise) ที่มีการกระจายแบบปกติด้วยค่าคงที่ความผันผวนของโหลด

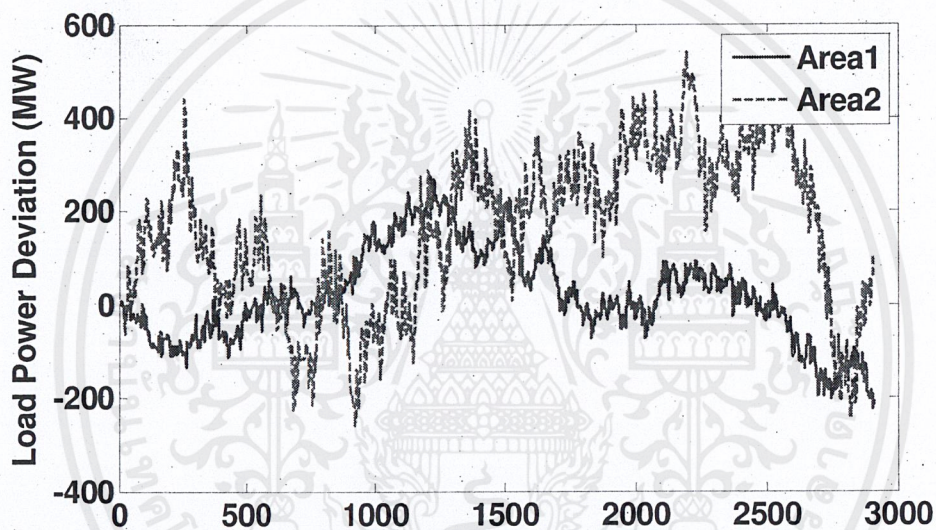
2. ส่วนประกอบของความผันผวนของโหลดจะพิจารณาจากนำความผันผวนของโหลดที่ได้จากข้อแรกมาผ่านตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง (HPF และ LPF) ผลที่ได้นำมาหักออกจากความผันผวนของโหลดเดิม

3. ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายสัญญาณแบบสุ่ม (ความสูง, คาบเวลาในการสุ่ม และตัวเลขของซีด (seed)) จะต้องตั้งค่าให้เหมาะสมเพื่อให้โหลดมีค่าเท่ากับระดับที่ต้องการ

เราจึงสามารถสร้างแบบจำลองของโหลดในระบบได้ดังรูปที่ 3.3 และได้ผลของการเปลี่ยนแปลงของโหลด ดังรูปที่ 3.4



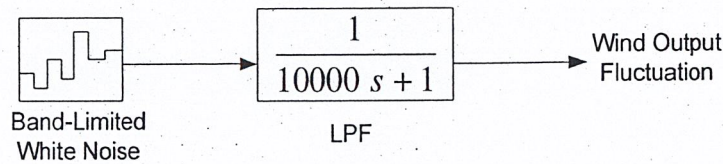
รูปที่ 3.3 แบบจำลองของโหลด



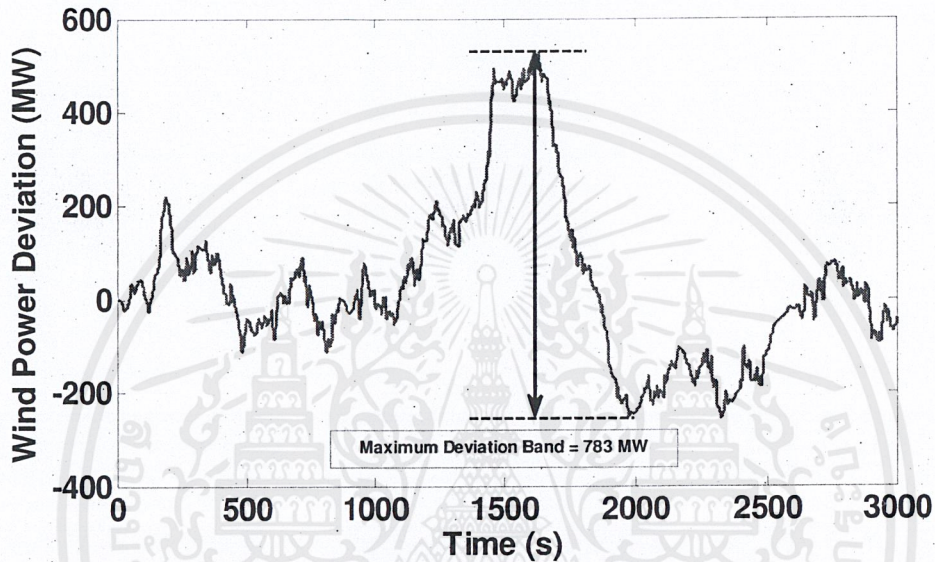
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงของโหลด

3.1.2 แบบจำลองของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Output Model)

พลังงานที่ได้จากพลังงานลมจะมีความผันผวนของพลังงานขาออกอันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของลมในแต่ละช่วงเวลา สามารถประมาณแบบจำลองของแหล่งจ่ายพลังงานลมได้ด้วยการใช้แหล่งจ่ายสัญญาณแบบสุ่มผ่านตัวกรองความถี่สูง (Low-Pass Filter) ดังในรูปที่ 3.5 [8] และได้รูปคลื่นแหล่งจ่ายพลังงานลมออกมาดังรูปที่ 3.6 โดยที่รูปคลื่นนี้มีค่าความผันผวนสูงสุดอยู่ที่ 783 MW



รูปที่ 3.5 แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม



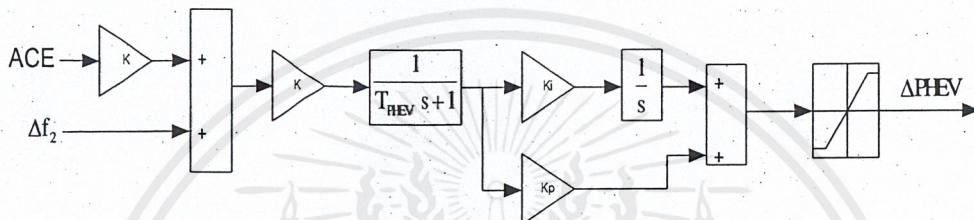
รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม

3.1.3 แบบจำลองของการควบคุมการชาร์จ PHEV

PHEV ที่ใช้เป็นตัวช่วยในการควบคุมความถี่ในระบบ จะมีการรับสัญญาณควบคุมจากสองอินพุต [9] คือ สัญญาณควบคุมความถี่ที่ได้มาจากตัวควบคุมความถี่ในพื้นที่ (Frequency Controller) ที่มีผลออกมาเป็นสัญญาณความผิดพลาดในพื้นที่ (Area Control Error) และจากสัญญาณความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในพื้นที่ 2 นำมาผ่านอัตราขยายที่เหมาะสมและบล็อกการชาร์จของ PHEV ที่มีค่าคงที่ในการชาร์จคือ T_{PHEV} ผ่านตัวควบคุม PI ที่ถูกออกแบบไว้เหมาะสมและผ่านตัวจำกัดเพื่อจำกัดจำนวนของ PHEV ที่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นแบบจำลองของการควบคุม PHEV จะแสดงได้ดังในรูปที่ 3.7 แต่เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานลมมีค่าของความผันผวนที่สูงดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาขนาดของ PHEV ที่จะนำมาใช้ในการควบคุมการชาร์จด้วย โดยในการศึกษานี้จะให้ค่าพิคกิงของ PHEV อยู่ที่ 5kW/คัน และค่าการผันผวนสูงสุดของพลังงานลมอยู่ที่ 783 MW ดังนั้นจะต้องใช้ PHEV เป็นจำนวนอย่างน้อยเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{จำนวน PHEV ที่ใช้ควบคุมความถี่} &= \frac{\text{ค่าความผันผวนสูงสุดของพลังงานลม}}{\text{พิกัดของ PHEV ต่อคัน}} \\ &= \frac{783 \text{ MW}}{5 \text{ kW}} = 156,600 \text{ คัน} \end{aligned} \quad (3.1)$$

ต้องใช้ PHEV ในการควบคุมความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความผันผวนของแหล่งจ่ายพลังงานลมเป็นจำนวนอย่างน้อย 156,600 คัน



รูปที่ 3.7 แบบจำลองการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV

3.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี Integrated Area Error (IAE)

ในการออกแบบตัวควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ในรูปที่ 3.7 ตัวควบคุมที่สำคัญที่เราเลือกใช้ก็คือ ตัวควบคุมแบบ PI ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ในการออกแบบนี้จะพิจารณาที่การควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV นี้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในเขตพื้นที่ 2 ให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ต้องการสามารถเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ (3.2)

$$\text{Minimize } \int_0^t |\Delta f_2| dt \quad (3.2)$$

สำหรับในการออกแบบตัวควบคุม PI ค่าตัวแปร K_p และ K_i จะต้องถูกออกแบบอย่างเหมาะสมจึงใช้วิธีการกำหนดช่วงตัวแปรของ K_p และ K_i แล้วทำการหาค่าที่ดีที่สุดภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ (3.2)

$$K_i(\min) \leq K_i \leq K_i(\max) \quad (3.3)$$

$$K_p(\min) \leq K_p \leq K_p(\max) \quad (3.4)$$

โดย

| | |
|-----------------------------|--|
| t | คือ ค่าเวลาสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ |
| Δf_2 | คือ การเปลี่ยนแปลงของความถี่ในพื้นที่ 2 |
| $K_i(\min)$ และ $K_i(\max)$ | คือ ค่าขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดของอัตราขยาย K_i |
| $K_p(\min)$ และ $K_p(\max)$ | คือ ค่าขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดของอัตราขยาย K_p |

กำหนดค่าที่ใช้ในการออกแบบดังต่อไปนี้ $t = 3,000$

$$K_i(\min) = 0.1, K_i(\max) = 2, K_p(\min) = 1.0 \text{ และ } K_p(\max) = 50$$

โดยขั้นตอนการออกแบบจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1: กำหนดช่วงเวลาที่จะใช้ในการออกแบบ
- ขั้นตอนที่ 2: กำหนดค่าพารามิเตอร์ K_p หรือ K_i ให้คงที่สักค่าหนึ่ง (ในปริภูมิพารามิเตอร์เล่มนี้จะทำการกำหนด K_p ให้คงที่ที่ค่า $K_p(\min)$)
- ขั้นตอนที่ 3: กำหนดช่วงของการแปรค่าของ K_i จาก $K_i(\min)$ ถึง $K_i(\max)$
- ขั้นตอนที่ 4: ทำการทดสอบในระบบโดยใช้ค่าของ K_p และช่วงของ K_i ตามที่ได้กำหนดไว้
พิจารณาค่า Integrated ค่าสมบรูณ์ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2
- ขั้นตอนที่ 5: ทำการไล่ช่วงของ K_p ตั้งแต่ $K_p(\min)$ ถึง $K_p(\max)$ โดยในแต่ละค่าก็จะทำการใช้ช่วงของ K_i ตามที่ได้กำหนดไว้
- ขั้นตอนที่ 6: หาจุดต่ำสุดจากรูปกราฟที่ได้ทั้งหมดเราก็จะได้ค่า K_p และค่า K_i ที่ต้องการตามจุดประสงค์

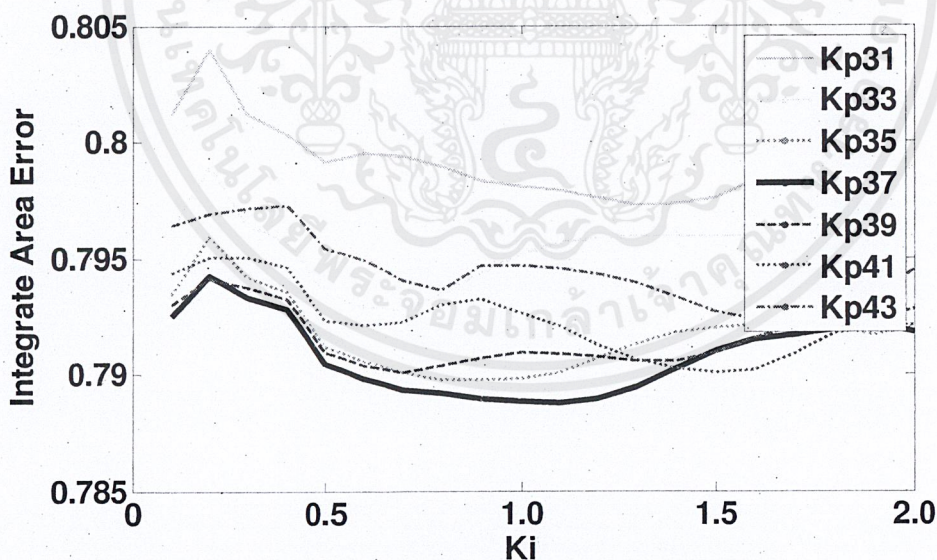
บทที่ 4

ผลการจำลอง

ในบทนี้แสดงผลการหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมชนิด PI controller ที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ด้วยวิธี IAE เพื่อหาค่าที่ทำให้การแกว่งของความถี่ในพื้นที่สองมีค่าน้อยที่สุด แล้วทำการเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ระบบที่มีการควบคุมการชาร์จของ PHEV แต่ไม่มีตัวควบคุมแบบ PI และระบบที่มีการชาร์จ PHEV ที่มีตัวควบคุมแบบ PI ที่มีการหาค่าพารามิเตอร์อย่างเหมาะสม โดยการจำลองด้วยระบบไฟฟ้า ที่มีการผันผวนของพลังงานลมแตกต่างกัน 3 กรณี โดยทั้ง 3 กรณีจะใช้ PHEV ทั้งหมด 200,000 คัน และสุดท้ายเป็นกรณีที่มี PHEV เพียง 100,000 คัน โดยพิจารณาที่การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 1

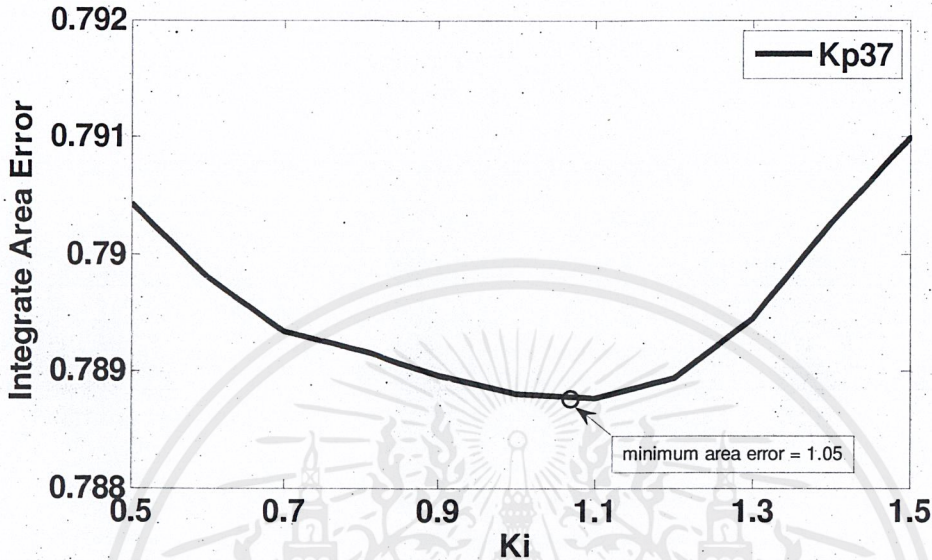
4.1 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี IAE

จากการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยการรันโปรแกรมด้วยวิธีที่นำเสนอ ผลจากการหาค่าพารามิเตอร์ในแต่ละครั้งนั้น สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.1 ซึ่งผลที่ได้ พบว่าค่า K_p ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดของพื้นที่สองมีค่าน้อยที่สุดคือ $K_p = 37$



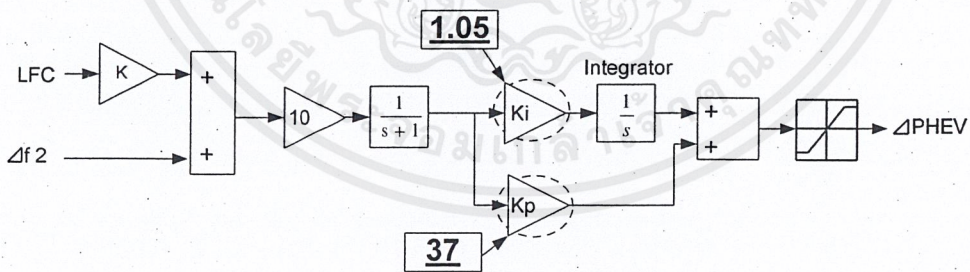
รูปที่ 4.1 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี IAE

เมื่อได้ค่า K_p แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่า K_i ที่ทำให้ค่า IAE มีค่าน้อยที่สุด จากการจำลองค่า $K_i = 1.05$



รูปที่ 4.2 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี IAE ที่หาจุดต่ำสุด

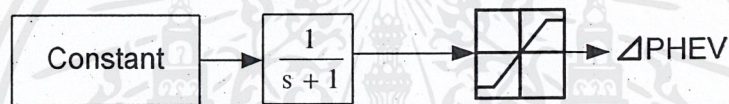
เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_i แล้ว นำค่าที่ได้ใส่ในแบบจำลองระบบของ PHEV ดังรูปที่ 4.3



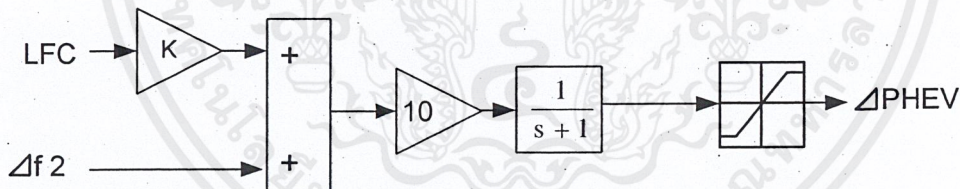
รูปที่ 4.3 แบบจำลองระบบของ PHEV ที่ใส่ค่าพารามิเตอร์แล้ว

4.2 ผลการจำลอง

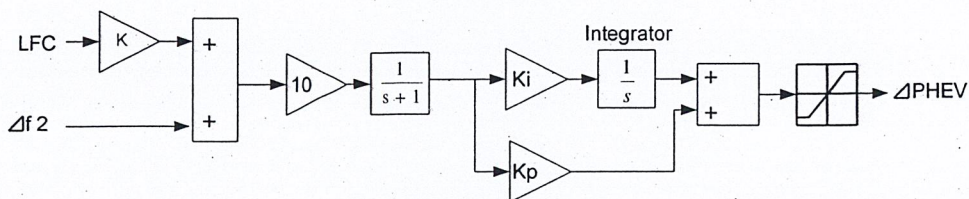
จากที่กล่าวไปในข้างต้น การจำลองจะใช้สถานการณ์การผันผวนของพลังงานลมที่แตกต่างกัน 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 จะมีการผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่ออกมามากที่สุด รองลงมาคือกรณีที่ 2 และน้อยที่สุดคือกรณีที่ 3 ในการวิเคราะห์ระบบในแต่ละกรณีนี้จะทำการแบ่งสภาวะการจำลองเป็น 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 แสดงถึงสภาวะที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV อยู่ในระบบ (No PHEV) ดังรูปที่ 4.4 สภาวะที่ 2 แสดงถึงสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แต่ไม่มีตัวควบคุม PI ติดตั้งเข้าไป (PHEV Control without PI) ดังรูปที่ 4.5 และ สภาวะที่ 3 แสดงถึงสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วย (PHEV with Propose Control) ดังรูปที่ 4.6 ส่วนกรณีสุดท้ายจะใช้พลังงานลมในกรณีที่ 1 มาทำการจำลองกับระบบที่มี PHEV อยู่ 100,000 คัน ซึ่งทั้ง 3 กรณีที่ผ่านมาใช้ 200,000 คัน



รูปที่ 4.4 แบบจำลองสภาวะที่ 1 แสดงถึงสภาวะที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV อยู่ในระบบ (No PHEV)



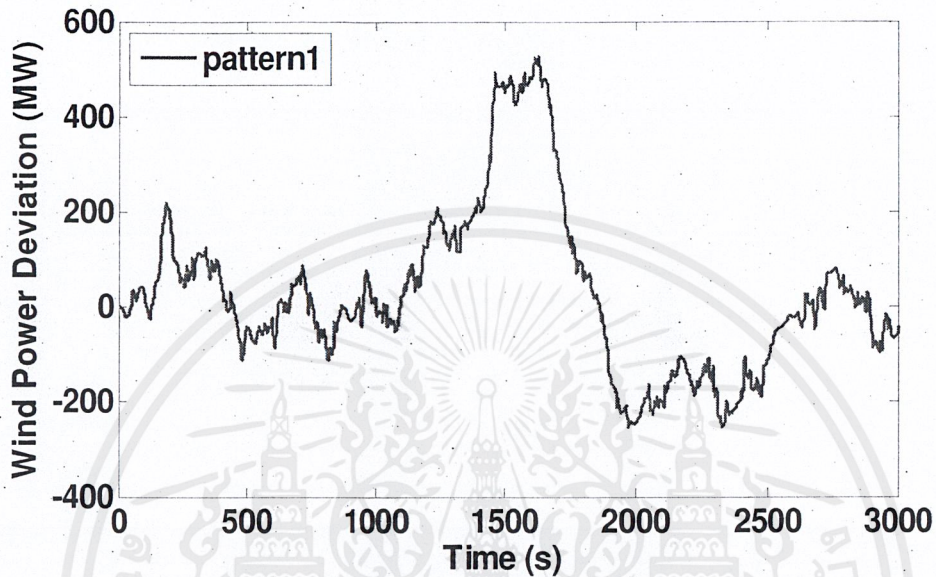
รูปที่ 4.5 แบบจำลองสภาวะที่ 2 แสดงถึงสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แต่ไม่มีตัวควบคุม PI ติดตั้งเข้าไป (PHEV Control without PI)



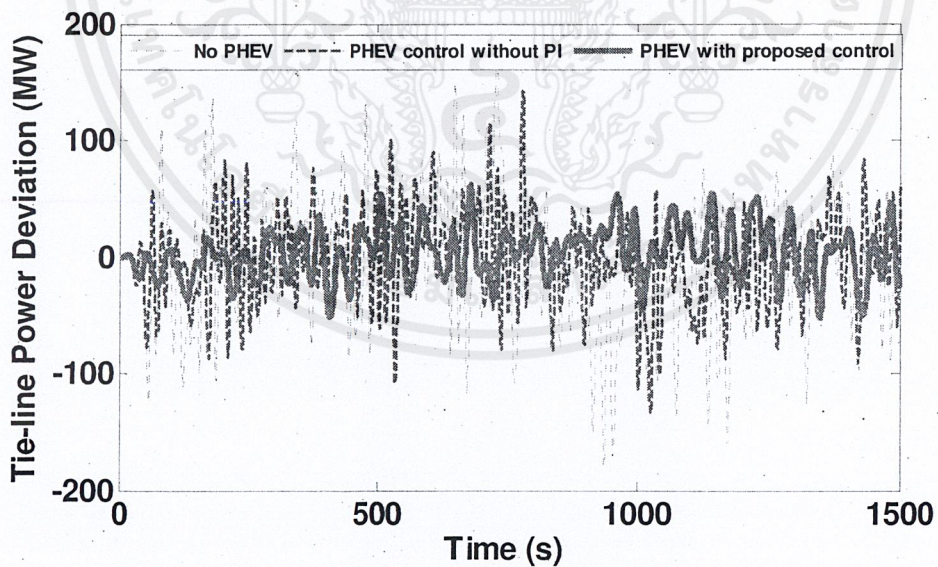
รูปที่ 4.6 แบบจำลองสภาวะที่ 3 แสดงถึงสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วย (PHEV with Propose Control)

4.2.1 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 1

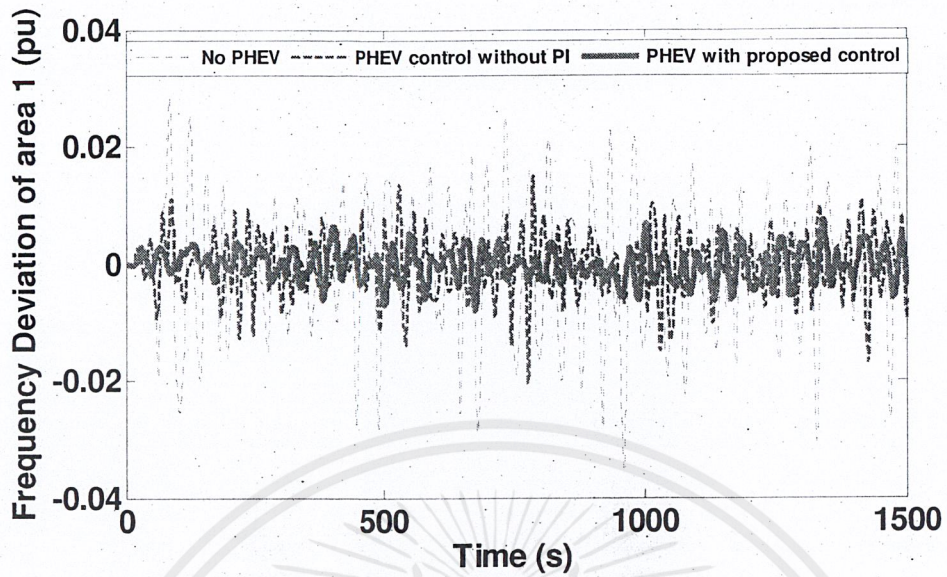
เป็นกรณีที่มีการผันผวนของพลังงานลมมีค่ามากที่สุด



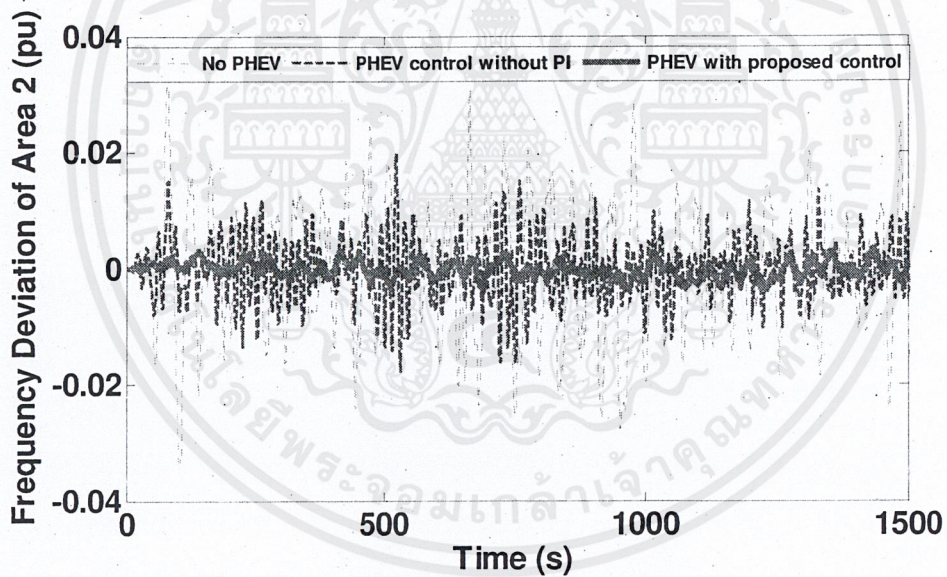
รูปที่ 4.7 การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 1



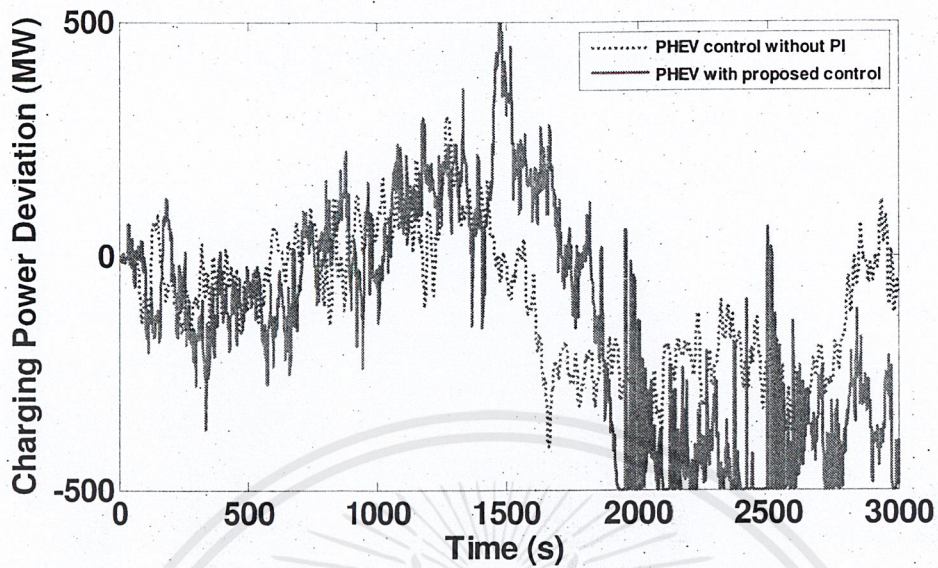
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 1



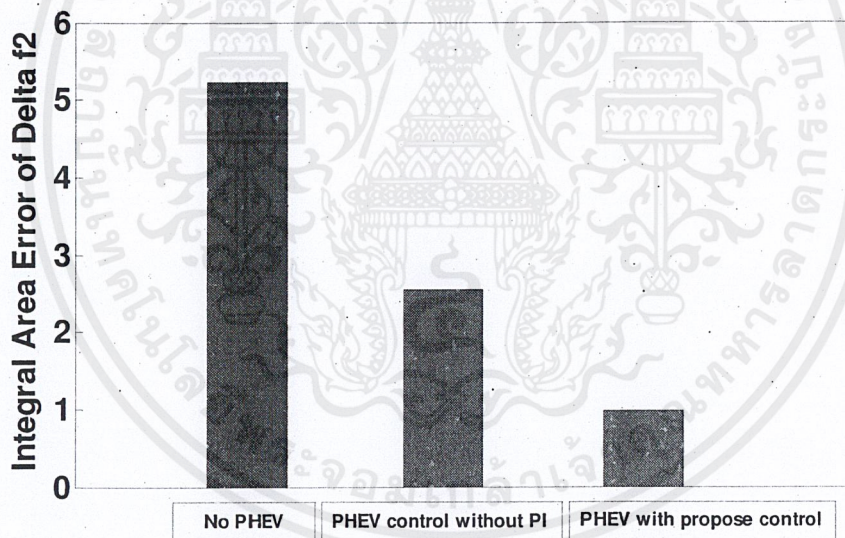
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 1



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

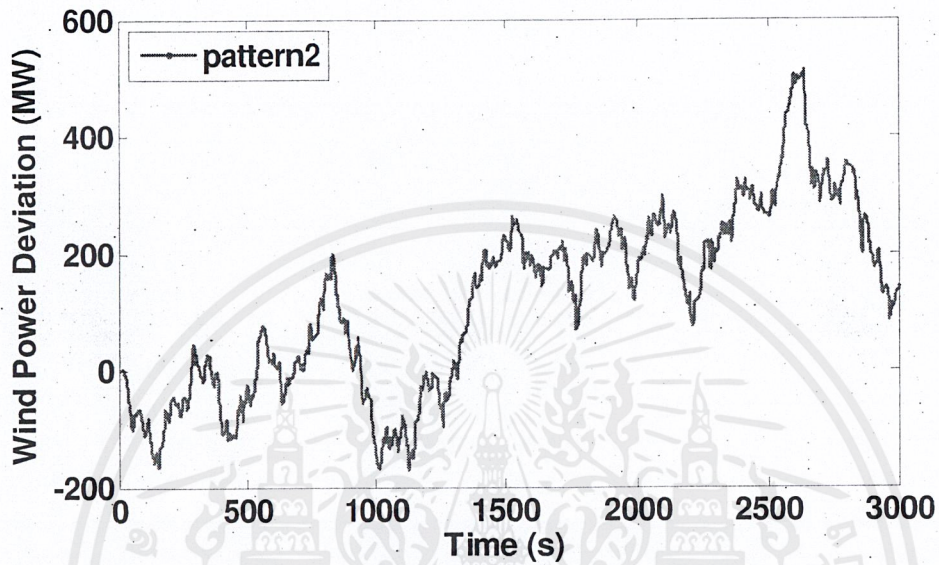
จากรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดมากที่สุดคือสภาวะที่ 1 รองลงมาคือสภาวะที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยสุดคือสภาวะที่ 3 ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะช่วยลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในระบบอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมได้มากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบนี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ดีที่สุดและช่วยชดเชยความถี่ให้ระบบได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ

จากรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV เปรียบเทียบกันระหว่าง สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 จะเห็นได้ว่ารูปกราฟในสภาวะที่ 3 จะมีการตอบสนองต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมากกว่า สภาวะที่ 2 ทำให้สามารถควบคุมความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

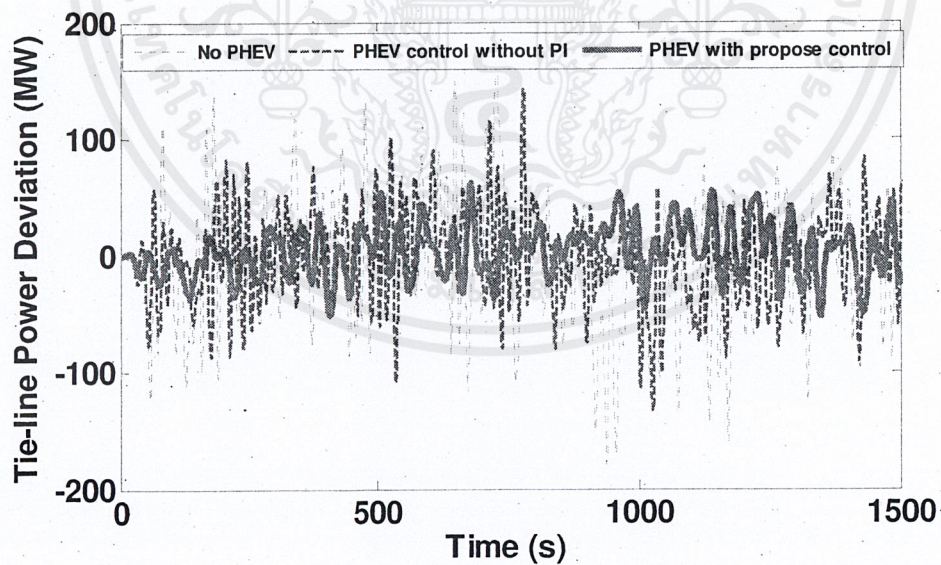
ในรูปที่ 4.12 จะเป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ของการ Integrate Area Error ของความถี่ในพื้นที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งาน PHEV ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่น้อยกว่าในสภาวะอื่นๆอยู่มาก

4.2.2 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 2

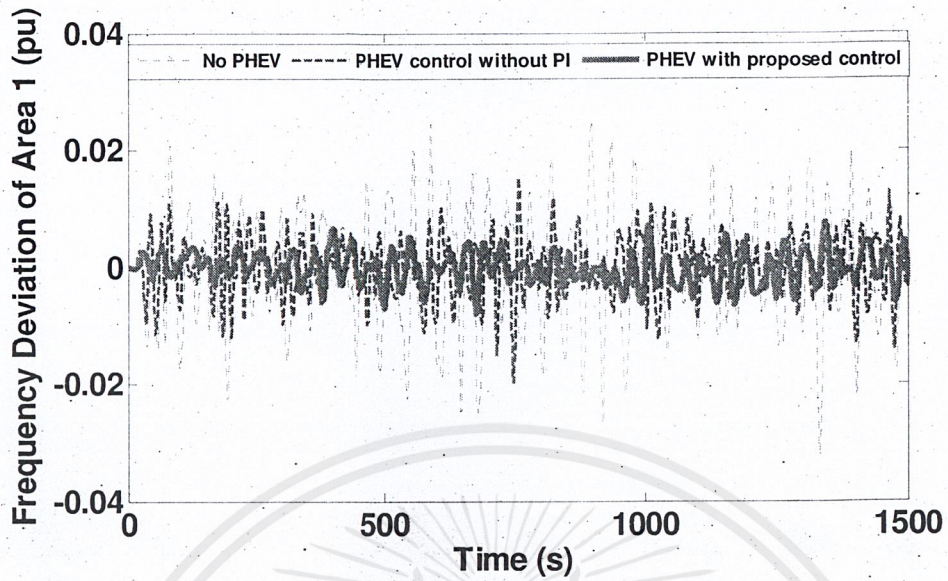
เป็นกรณีที่การผันผวนของพลังงานลมมีกำลังน้อยกว่ากรณีที่ 1 แต่มากกว่าในกรณีที่ 3



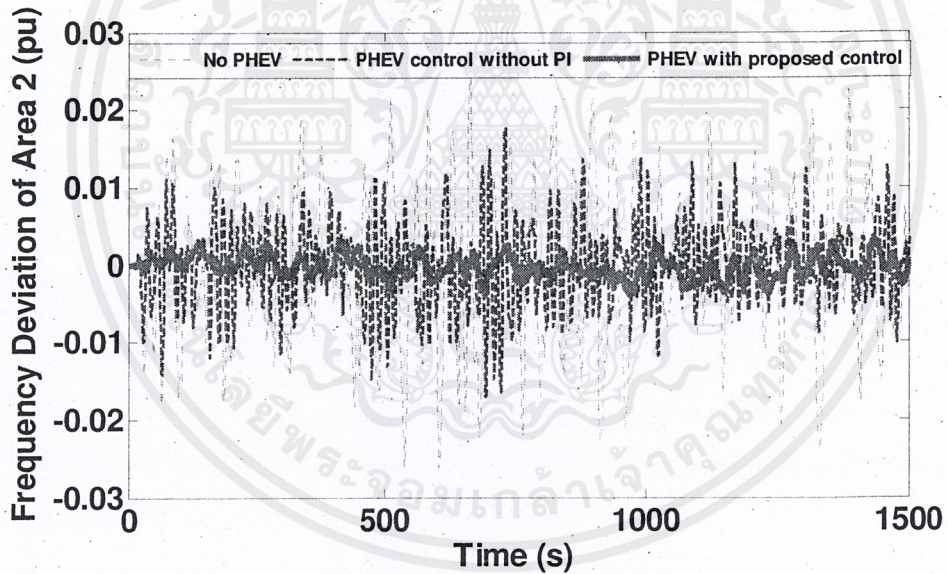
รูปที่ 4.13 การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 2



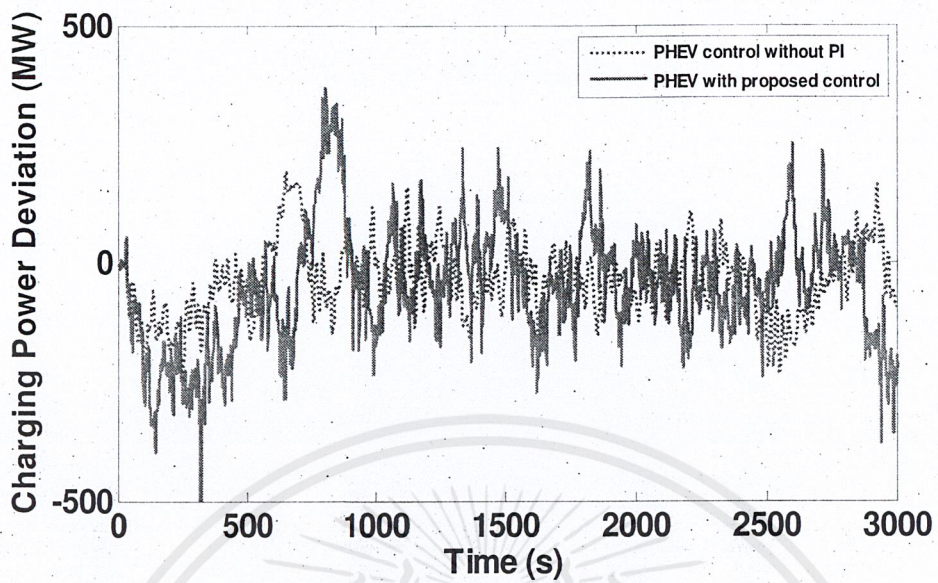
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 2



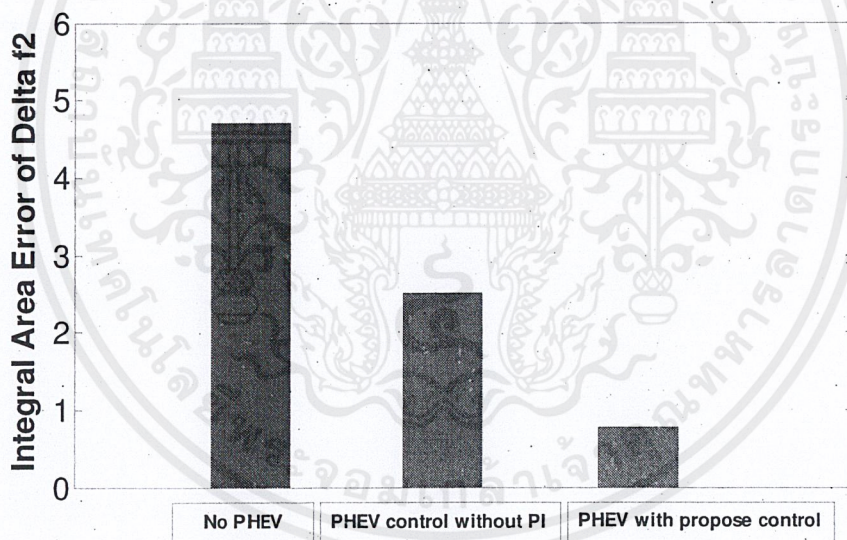
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 2



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 2



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 2



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

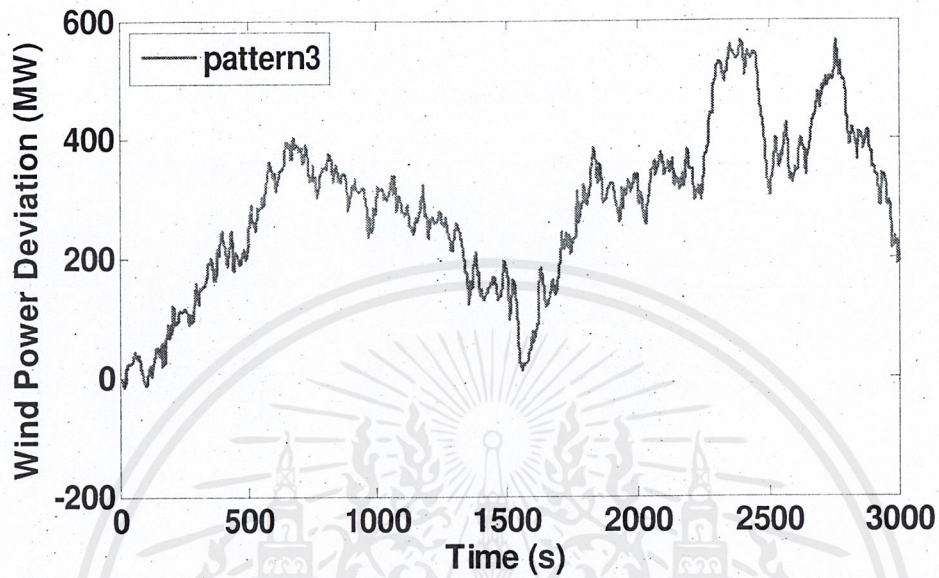
จากรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดมากที่สุดคือ สภาวะที่ 1 รองลงมาคือสภาวะที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยสุดคือสภาวะที่ 3 ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะช่วยลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในระบบอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมได้มากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบนี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ดีที่สุดและช่วยชดเชยความถี่ให้ระบบได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ

จากรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV เปรียบเทียบกันระหว่าง สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 จะเห็นได้ว่ารูปกราฟในสภาวะที่ 3 จะมีการตอบสนองต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมากกว่า สภาวะที่ 2 ทำให้สามารถควบคุมความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

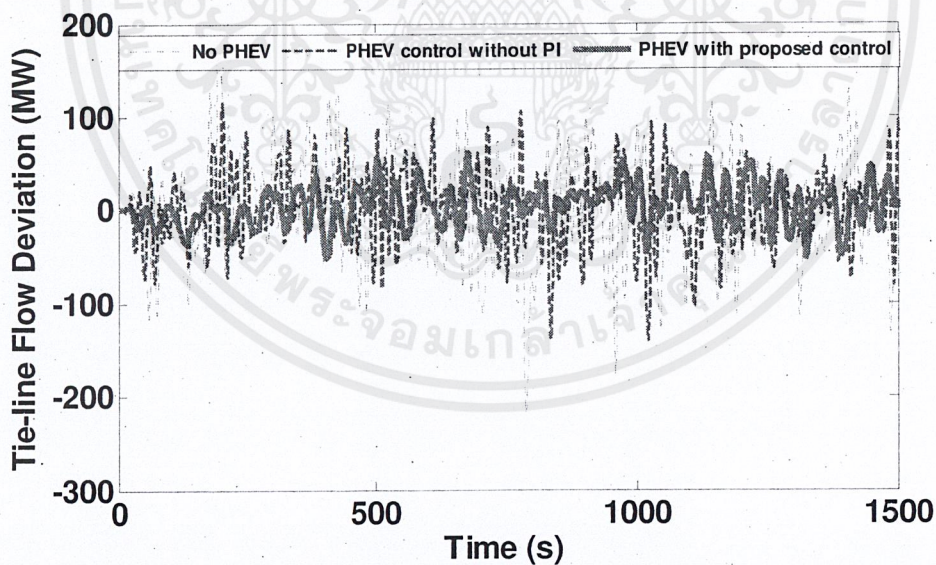
ในรูปที่ 4.18 จะเป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ของการ Integarte Area Error ของความถี่ในพื้นที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งาน PHEV ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่น้อยกว่าในสภาวะอื่นๆอยู่มาก และเมื่อเทียบกับพลังงานลมในกรณีที่ 1 จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่น้อยกว่าด้วย

4.2.3 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 3

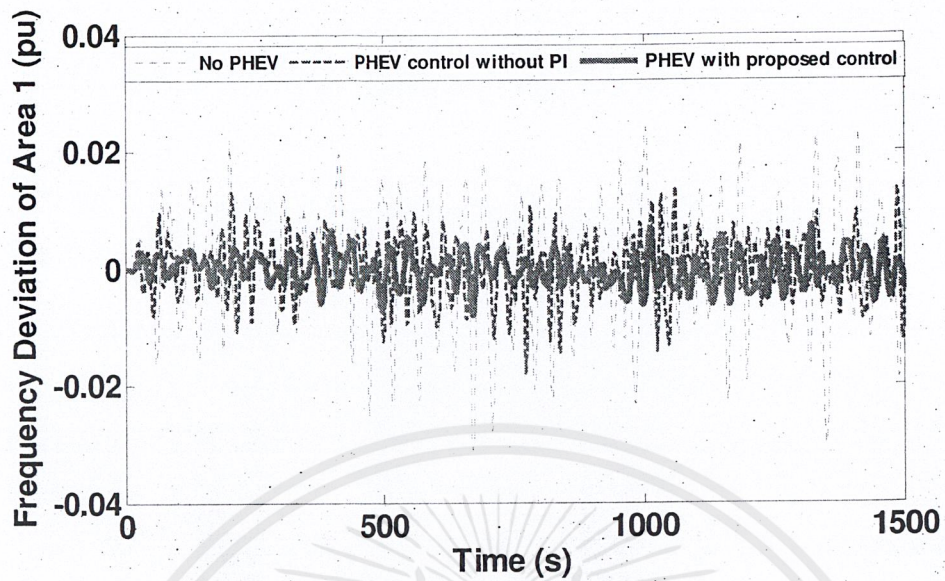
เป็นกรณีที่มีการผันผวนของพลังงานลมมีกำลังน้อยที่สุด



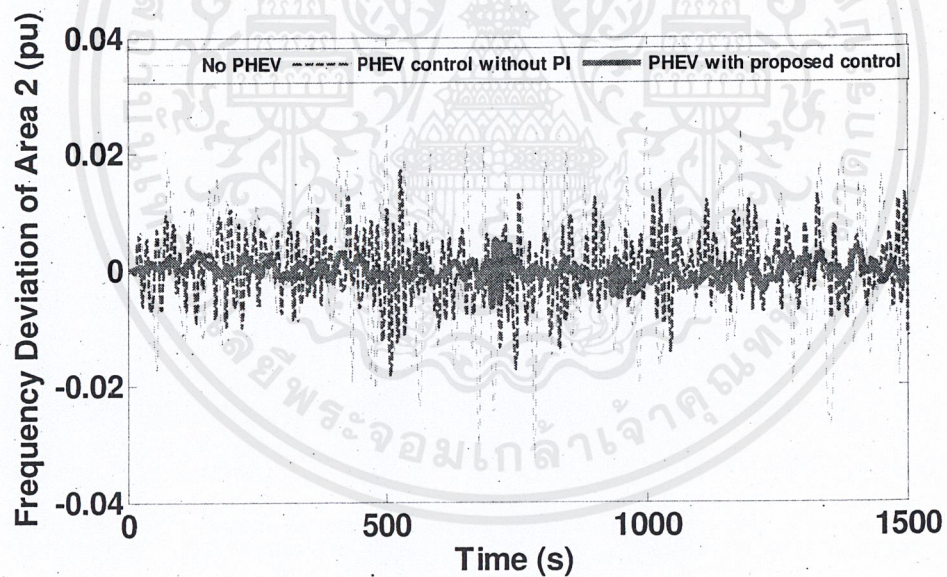
รูปที่ 4.19 การผันผวนของพลังงานลมกรณีที่ 3



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 3

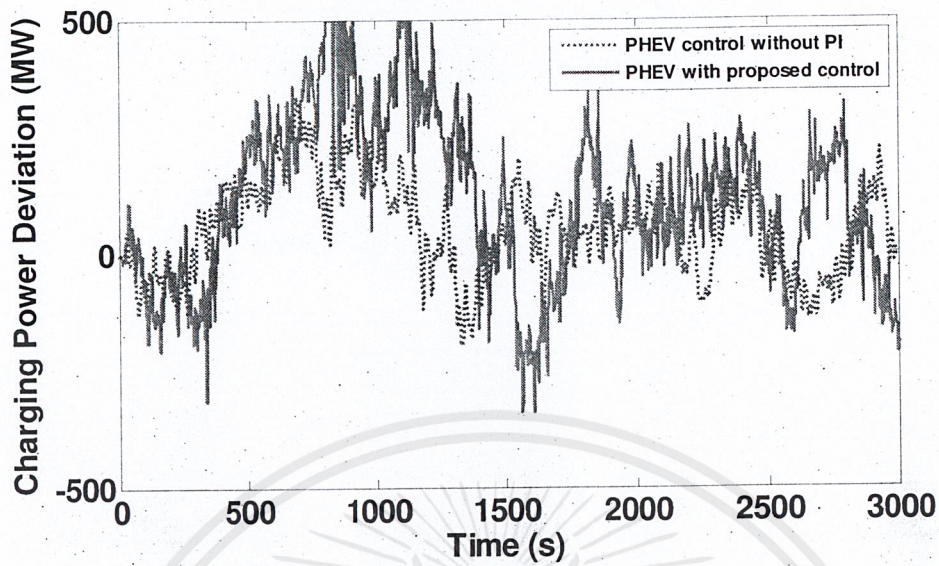


รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 3

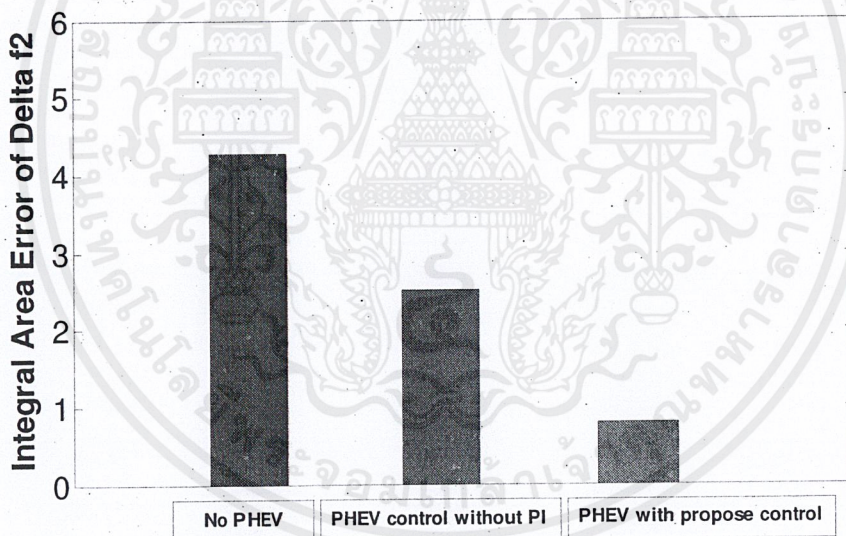


รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 3



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

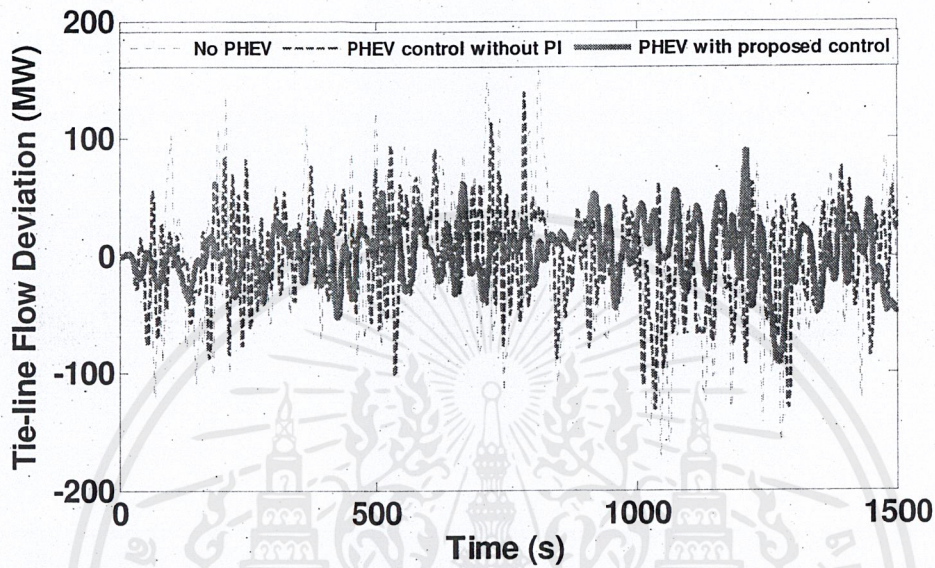
จากรูปที่ 4.20 ถึงรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดมากที่สุดคือ สภาวะที่ 1 รองลงมาคือสภาวะที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยสุดคือสภาวะที่ 3 ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะช่วยลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในระบบอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมได้มากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบนี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ดีที่สุดและช่วยชดเชยความถี่ให้ระบบได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ

จากรูปที่ 4.23 เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV เปรียบเทียบกันระหว่าง สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 จะเห็นได้ว่ารูปกราฟในสภาวะที่ 3 จะมีการตอบสนองต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมากกว่า สภาวะที่ 2 ทำให้สามารถควบคุมความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า และเมื่อพิจารณาควกับรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าพลังงานลมมีค่าสูงขึ้นในแดนบวก รูปคลื่นการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

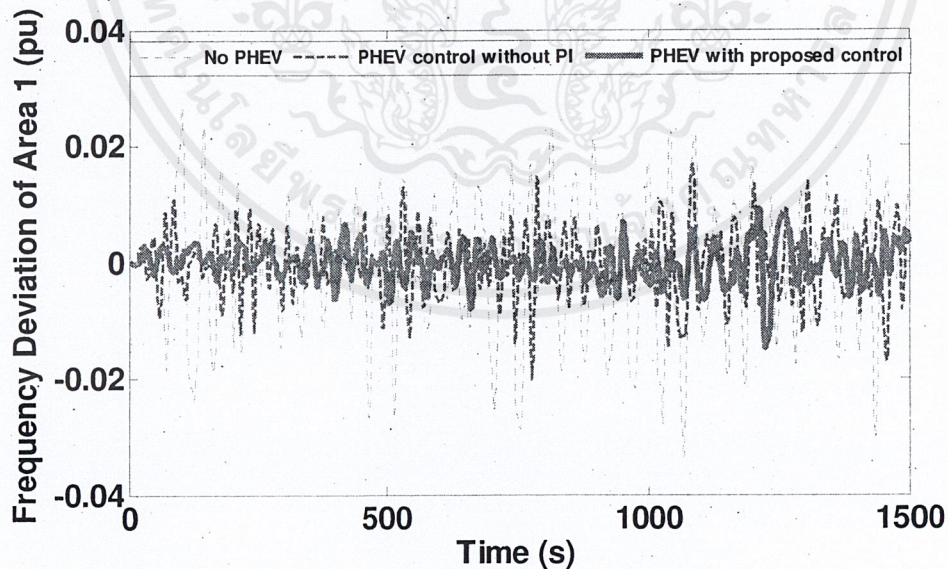
ในรูปที่ 4.24 จะเป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ของการ Integarte Area Error ของความถี่ในพื้นที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งาน PHEV ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่น้อยกว่าในสภาวะอื่นๆอยู่มาก

4.2.4 การจำลองระบบพลังงานลมกรณีที่ 1 ด้วย PHEV 100,000 คัน

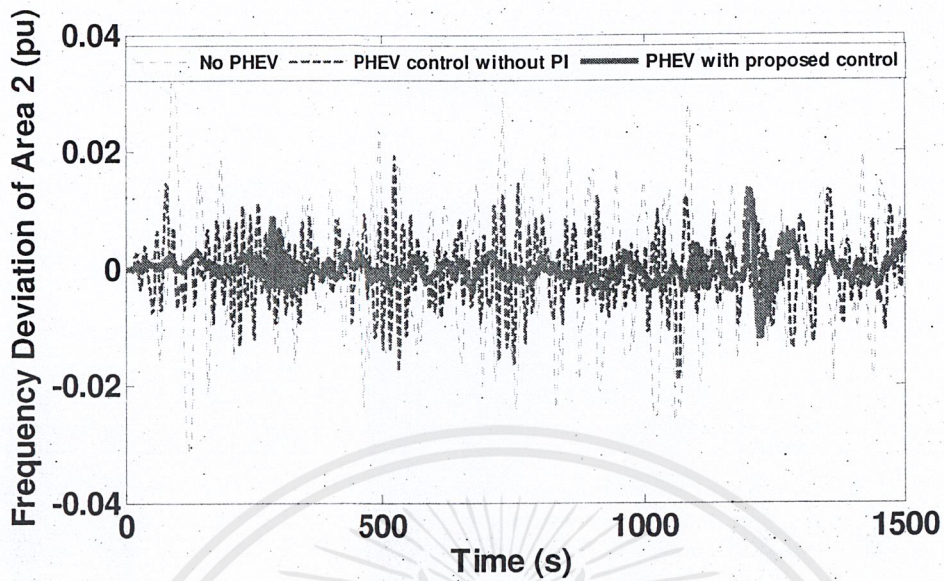
ในกรณีนี้จะใช้การผันผวนของพลังงานลมในกรณีที่ 1 แต่จะกำหนดให้มี PHEV ในระบบอยู่ 100,000 คัน ซึ่งทั้ง 3 กรณีที่ผ่านมาใช้ PHEV 200,000 คัน



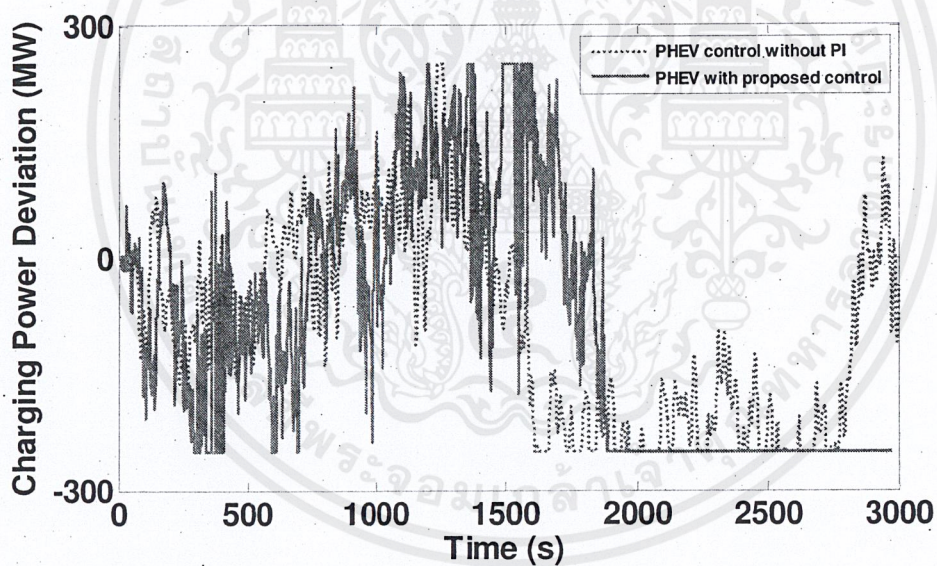
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อมกรณีที่ 1 ด้วย PHEV 100,000 คัน



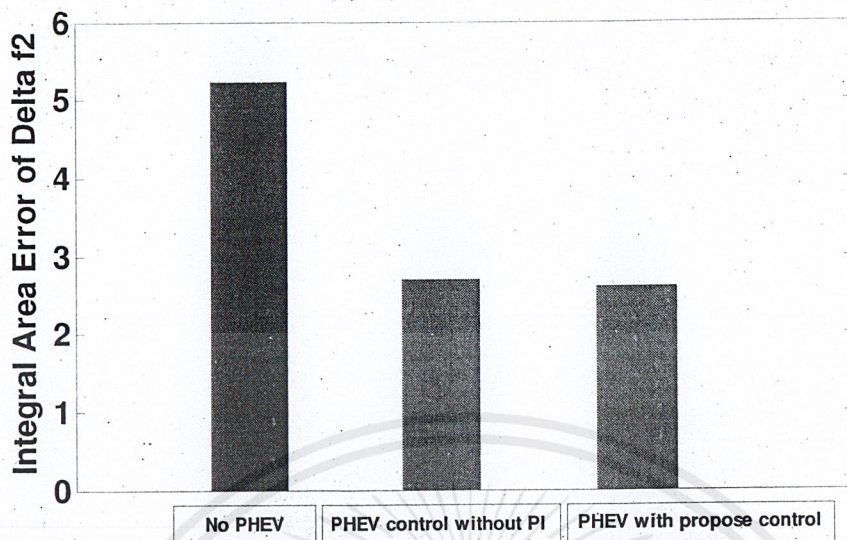
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1 กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2 กรณีที่ 1 ที่มี PHEV 100,000 คัน

จากรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดมากที่สุดคือสภาวะที่ 1 รองลงมาคือสภาวะที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือสภาวะที่ 3 ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะช่วยลดผลกระทบของการแกว่งของพลังงานในระบบอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมได้มากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบนี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ดีที่สุดและช่วยลดความถี่ให้ระบบได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นก็ยังรุนแรงกว่าระบบที่มี PHEV 200,000 คัน

จากรูปที่ 4.28 เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV เปรียบเทียบกันระหว่าง สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 จะเห็นได้ว่ารูปกราฟ ของทั้ง 2 กรณีมีค่าการชาร์จที่ใกล้เคียงกันแต่ในสภาวะที่ 3 ก็ยังคงมีการตอบสนองที่ดีกว่าแต่ไม่มากนัก และผลที่ได้ของทั้ง 2 กรณีจะมีการชนขอบเขตบนและล่างนั้นแสดงให้เห็นว่าจำนวนของ PHEV ที่มีอยู่ในระบบนั้นไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ในรูปที่ 4.29 จะเป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ของการ Integarte Area Error ของความถี่ในพื้นที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งาน PHEV จะเห็นได้ว่าในกรณีนี้สภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จของ PHEV จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่น้อยกว่าแบบที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จ แต่การควบคุมการชาร์จของ PHEV ในสภาวะที่ 2 และ 3 จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่ใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และการดำเนินโครงการสรุปผลการทดลองที่ได้ และข้อเสนอแนะของโครงการ

5.1 สรุปผลการจำลอง

จากปัญหาของความผันผวนของแหล่งจ่ายพลังงานลมและความไม่แน่นอนของโหลดที่เกิดขึ้น จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าทำให้เกิดการแกว่งของความถี่ในพื้นที่และเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อ ซึ่งส่งผลเสียต่อความน่าเชื่อถือของระบบ อาจทำให้ระบบเกิดการสูญเสียเสถียรภาพได้ถ้าการแกว่งนั้นรุนแรงมาก หรือเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบใหญ่ล้มทั้งหมดได้

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวปริญาณิพนธ์นี้จึงนำเสนอแนวคิดในการใช้รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) ซึ่งสามารถรองรับกำลังไฟฟ้ามาใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จากระบบได้ มาใช้ในการลดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยทำการควบคุมการชาร์จของกลุ่ม PHEV ในระบบ ให้สามารถตอบสนองต่อพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบอันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของแหล่งจ่ายพลังงานลมและโหลดที่เกิดขึ้น แต่ในการใช้งานนั้นความสามารถในการตอบสนองต่อพลังงานที่เปลี่ยนไปนั้นจะขึ้นอยู่กับเทคนิคในการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของ PHEV จึงนำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบ PI (PI Controller) ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ โดยใช้วิธีการหาค่าพื้นที่ความผิดพลาดที่น้อยที่สุด (Integrated Area Error: IAE) มาใช้ในการหาค่าอัตราขยาย K_p และ K_i ที่ดีที่สุดที่ทำให้ PHEV สามารถช่วยเหลือระบบได้ดีที่สุด โดยค่าที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอ คือ $K_p = 37$ เท่ากับ $K_i = 1.05$

ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงถึงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในพื้นที่และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อ ในระบบที่ไม่มี การควบคุมการชาร์จของ PHEV ระบบที่มี PHEV และทำการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV โดยใช้สัญญาณการป้อนกลับเพียงอย่างเดียว และสุดท้ายระบบที่มี PHEV และทำการควบคุมการชาร์จด้วยตัวควบคุมแบบ PI โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามที่ได้ออกแบบด้วยวิธี IAE แสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ในระบบสามารถที่จะลดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในพื้นที่และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อได้ และการควบคุมการชาร์จของ PHEV ด้วยวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสูงสุดที่จะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในพื้นที่และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่ออันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมและโหลด ภายใต้การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของพลังงานลมรูปแบบต่างๆ

5.2 ข้อดีและข้อจำกัด

ข้อดี

1. การใช้ตัวควบคุมแบบ PI จะมีความง่ายสำหรับการนำไปใช้ทางปฏิบัติ
2. การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี IAE นั้นสามารถที่จะหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อระบบได้ดี และง่ายต่อการทำความเข้าใจ
3. การใช้ PHEV เพื่อช่วยเหลือระบบนั้นจะเป็นการนำสิ่งที่มีอยู่แล้วในระบบมาทำให้เกิดประโยชน์

ข้อจำกัด

1. จำนวนของ PHEV ที่มีในระบบต้องมีจำนวนที่เพียงพอที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงในระบบได้
2. ในทางปฏิบัติผู้ใช้งาน PHEV ต้องให้ความร่วมมือในการถูกควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถที่จะนำวิธีที่นำเสนอนี้ไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีอุปกรณ์ควบคุมแบบอื่นๆ ได้ เช่น SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), SVC (Static Var Compensator) เป็นต้น
2. สามารถที่จะนำการควบคุมการชาร์จของ PHEV เพื่อไปช่วยเหลือเสถียรภาพของระบบ ที่เกิดจากปัญหาอื่นๆ ได้ เช่น เกิดการผิดพลาดของระบบ (Fault) เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] H. Saaadat, **Power System Analysis**, McGraw-Hill, 1999.
- [2] Leonard L. Grigsby, **Power System Stability and Control**, 2nd Ed., CRC Press, 2007.
- [3] P. Kundur, **Power system stability and control**, McGraw-Hill, 1994
- [4] Zhou Xue-song, Cui Li-qiang and Ma You-jie, "Research on Smart Grid Technology," **ICCASM, 2010**, pp.599-603.
- [5] กระทรวงพลังงาน, วารสารนโยบายพลังงาน, ฉบับที่ 85, ก.ค-ก.ย.52
- [6] IEEE-USA Board of Directors: "Position statement Plug-in electric hybrid vehicles", IEEE-USA, 2007.
- [7] T. Michigami and T. Oishi: "Construction of dynamic fluctuation load model and simulation with AFC-control of BTB Interconnection", *IEEEJ Trans. PE*, Vol. 120, No. 7, pp. 954-961, 2000.
- [8] Nakamura A. Ezaki K. Kakinuma E. Fujita G. Yamaguchi T. Yokoyama R. Koyanagi K. Funabashi T. Study on wind power generation capacity and power quality. The Papers of Technical Meeting on Power Systems Engineering, IEE Japan, PSE-04-3, 2004.
- [9] M.Takagi, K.Yamaji "Power System Stabilization by Charging Power Management of Plug-in Hybrid Electric Vehicles with LFC Signal", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความถี่ในระบบสมาร์ตกริดโดยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของรถไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน

Smart Frequency Control by Power Charging Control of Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

ปัทมพัทธ์ สมหวัง นิรุตร์ วิสุทธิชัย และ พรพรหม หิรัญมงคลรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนลาดพร้าว แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

บทคัดย่อ

ในระบบสมาร์ตกริด แนวโน้มการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานลมมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการแกว่งของความถี่ โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความถี่นั้นมิได้เพียงพอ ส่วนในด้านผู้ใช้ไฟฟ้า การชาร์จไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) ก็มีเพิ่มมากขึ้นและการชาร์จกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ก็มักทำกันในเวลากลางคืน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของกลุ่ม PHEV อย่างเหมาะสม เพื่อไปลดการแกว่งของความถี่ในระบบ งานวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI ที่ออกแบบมาอย่างเหมาะสม เพื่อช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบสมาร์ตกริด ผลที่ได้คือ การควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของวิธีที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพในการช่วยลดการแกว่งของพลังงานที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อและการแกว่งของความถี่อื่นเนื่องมาจากพลังงานลมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: สมาร์ตกริด, รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบเสียบปลั๊ก, การควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้า, การควบคุมความถี่

Abstract

In smart grid trend to install a wind power source increases. This will cause problems frequency oscillation. Especially during at night, which generator used for frequency control has not enough. In the consumer section use of PHEV has increase and charging power most often done at night. It is possible to charging power control of PHEV to reduce frequency oscillation in the system. This research presents charging power control of PHEV by using PI controller that is designed properly. For reduce the oscillation of power in a smart grid. The result is to control charging power of the proposed method is effective in reducing the oscillation of the power flow in tie line and the oscillation frequency due to wind power as well.

Keyword: smart grid, plug-in hybrid electric vehicle, charging power control, frequency control

1. บทนำ

ในภาคส่วนพลังงาน พลังงานทดแทนกำลังเข้ามาในระบบไฟฟ้าเป็นจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ พลังงานลมก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง แต่ข้อเสียหลักๆของพลังงานลมก็คือ ความไม่แน่นอนของกำลังการผลิตที่จ่ายเข้ามาในระบบอันเนื่องจากความไม่แน่นอนของกระแสลม ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อระบบในด้านเสถียรภาพทางความถี่และกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเชื่อมต่อ (tie line) ซึ่งผลกระทบต่อเหล่านี้จะเห็นชัดในตอนกลางคืนที่จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่คอยควบคุมความถี่นั้นลดลง

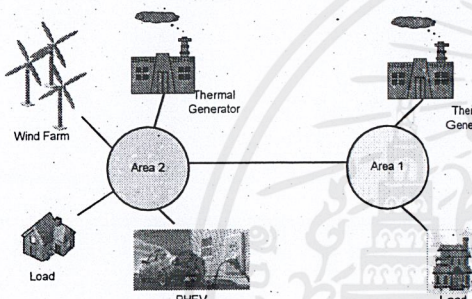
ในภาคส่วนของการขนส่ง Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) เป็นอีกชนิดหนึ่งของรถไฟฟ้าไฮบริดที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดย PHEV จะสามารถชาร์จพลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและสามารถที่จะวิ่งได้เป็นระยะทางหลายสิบกิโลเมตรในโหมดขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วการชาร์จพลังงานให้กับ PHEV จะนิยมชาร์จในช่วงกลางคืนเนื่องจากในเวลากลางวัน PHEV จะถูกนำไปใช้งาน ดังนั้นหากมีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ได้อย่างเหมาะสม ก็จะสามารถลดการแกว่งของความถี่อื่นเนื่องมาจากแหล่งพลังงานลมได้

ในการศึกษานี้มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่รับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม Area Control Error (ACE) โดยจะใช้ความถี่ในพื้นที่เอง โดยจะใช้ตัวควบคุมแบบ PI เป็นตัวดำเนินการซึ่งค่า พารามิเตอร์ของตัวควบคุม จะทำการออกแบบโดยพิจารณาจาก Integrate Area Error (IAE) ให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้สามารถลดการแกว่งของพลังงานและความถี่ในระบบสมาร์ตกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. การจำลองระบบ

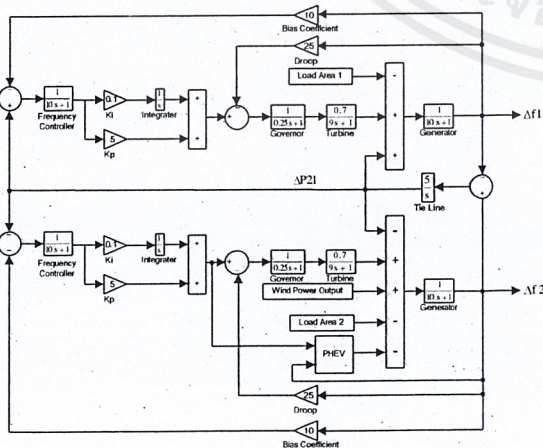
2.1 แบบจำลองระบบ

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นระบบ 2 พื้นที่ที่เชื่อมต่อกันด้วยสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยในแต่ละพื้นที่จะมีขนาดกำลังผลิตอยู่ที่ 2000 MW ซึ่งพลังงานหลักของทั้งสองพื้นที่นั้น เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ขนาดพื้นที่ที่ 1 2000 MW และในพื้นที่ 2 มีขนาด 1000 MW โดยในพื้นที่ 2 จะมีการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมขนาด 1000 MW และมีการใช้ PHEV ในระบบจำนวน 200,000 คัน อยู่ด้วย จุดประสงค์ของการศึกษาคือการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่ใช้ในพื้นที่ 2 เพื่อช่วยเหลือระบบในการควบคุมความถี่ที่มีปัญหาการแกว่งอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมที่ติดตั้งในระบบ



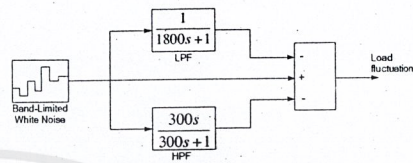
รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันด้วยสายส่ง

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของระบบไฟฟ้า เราจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนส่วนประกอบต่างๆ ในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจากระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันด้วยสายส่งจะสามารถแสดงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้น ได้ดังแสดงในรูปที่ 2[1]

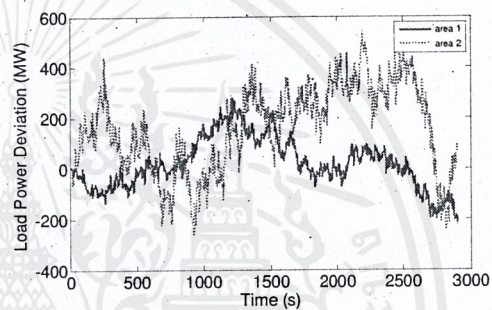


รูปที่ 2 แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นของระบบ

จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบในส่วนของโหลด สามารถจะประมาณได้ด้วยการใช้แหล่งจ่ายที่มีรูปคลื่นแบบสุ่มออกมาผ่านตัวกรองความถี่สูงและตัวกรองความถี่ต่ำดังแสดงในรูปที่ 3[2] และได้ผลที่ออกมาจากแบบจำลองนี้ในรูปที่ 4

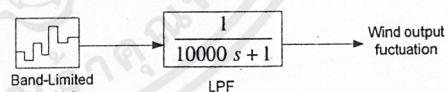


รูปที่ 3 แบบจำลองของโหลด

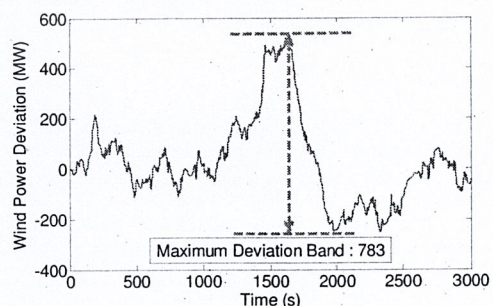


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของโหลด

ในส่วนของแหล่งจ่ายพลังงานลมแบบจำลองที่ใช้ก็จะใช้เป็นแหล่งจ่ายที่มีรูปคลื่นแบบสุ่มผ่านตัวกรองความถี่สูงดังในรูปที่ 5[3] และได้รูปคลื่นออกมาดังรูปที่ 6 โดยรูปคลื่นนี้จะมีการแกว่งของพลังงานสูงสุดอยู่ที่ 783 MW

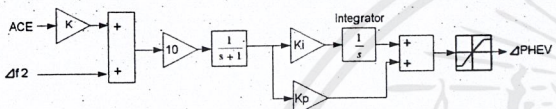


รูปที่ 5 แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลม

แบบจำลองการควบคุมการชาร์จของ PHEV ที่ใช้เป็นตัวช่วยในการควบคุมความถี่ในระบบ โดยจะมีการรับสัญญาณควบคุมจากสองอินพุต คือ สัญญาณควบคุมความถี่ที่ได้มาจากตัวควบคุมความถี่ในพื้นที่ (Frequency Controller) ที่ได้ผลออกมาเป็นสัญญาณผิดพลาดในพื้นที่ (Area Control Error) และจากสัญญาณความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในพื้นที่ 2 ผ่านตัวควบคุม PI ที่ถูกออกแบบไว้อย่างเหมาะสม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 7 แต่เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานลมมีค่าของการแกว่งที่สูงดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาขนาดของ PHEV ที่จะนำมาใช้ในการควบคุมการชาร์จด้วย โดยในการศึกษานี้จะให้ค่าพิกัดของ PHEV อยู่ที่ 5kW/คัน และค่าการแกว่งสูงสุดของพลังงานลมอยู่ที่ 783 MW ดังนั้นจะต้องใช้ PHEV เป็นจำนวนอย่างน้อย 156,600 คัน (738 MW/5kW)



รูปที่ 7 แบบจำลองการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV

3. การออกแบบตัวควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV

3.1 แนวคิดในการออกแบบตัวควบคุม

จากที่กล่าวไปข้างต้น สัญญาณ ACE ที่เกินกำลังการควบคุมของอัลกอริทึมจะถูกเติมเต็มด้วยการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV โดยตัวควบคุมที่เลือกใช้เป็นตัวควบคุมแบบ PI ซึ่งขั้นตอนการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ในการออกแบบจะพิจารณาพื้นที่การแกว่งของความถี่ในเขตพื้นที่ 2 มีพื้นที่ที่น้อยที่สุด ซึ่งการหาพื้นที่นั้นสามารถเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Minimize } \int_0^{3000} |\Delta f_2| dt \quad (1)$$

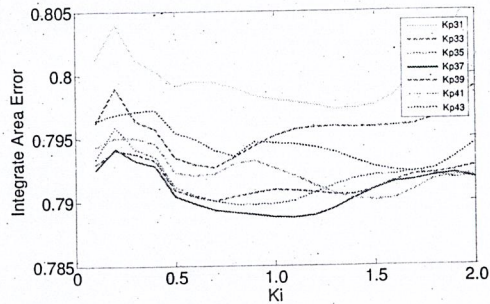
สำหรับการออกแบบนี้จะทำการเปลี่ยนแปลง (vary) ค่า Ki และ Kp เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในการออกแบบ โดยช่วงของการเปลี่ยนแปลงของ Kp และ Ki แสดงได้ดังสมการ

$$0.1 < Ki < 2 \quad (2)$$

$$1.0 < Kp < 50 \quad (3)$$

3.2 ผลการออกแบบตัวควบคุม

จากการหาค่า Ki และ Kp ตามสมการที่ (2) และ (3) พบว่าค่าที่ทำให้พื้นที่การแกว่งของพื้นที่ 2 น้อยที่สุดคือให้ Ki = 1.05 และ Kp = 37 ผลตอบสนองตามสมการที่ (1) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า Ki และ Kp แสดงอยู่ในรูปที่ 8

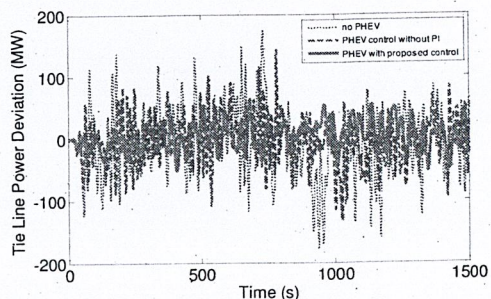


รูปที่ 8 การหาค่า Kp และ Ki

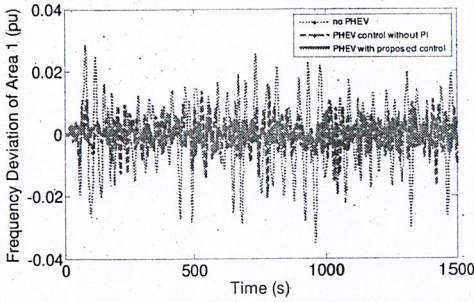
ในรูปที่ 8 เป็นการยกตัวอย่างค่า Kp มา 7 ค่าซึ่งเป็นค่าที่หามาแล้วว่าดีที่สุด จากนั้นนำค่า Kp มาเปลี่ยนแปลงหาค่า Ki อีกครั้งหนึ่งจากค่า Ki และ Kp ที่ได้จะถูกนำมาใส่ในแบบจำลองการควบคุมการชาร์จไฟของ PHEV ในรูปที่ 7

4. ผลการจำลอง

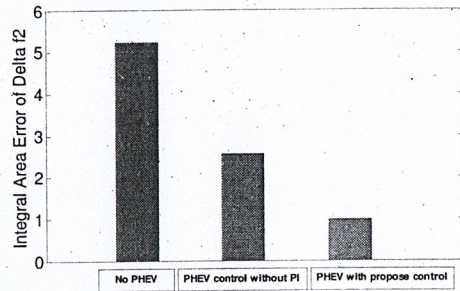
ในการวิเคราะห์ระบบนี้จะทำการแบ่งสภาวะการจำลองเป็น 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 แสดงถึงสภาวะที่ไม่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV อยู่ในระบบ (No PHEV) สภาวะที่ 2 แสดงถึงสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แต่ไม่มีตัวควบคุม PI ติดตั้งเข้าไป (PHEV control without PI) และ สภาวะที่ 3 แสดงถึงสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วย (PHEV with propose control) จากจากรูปที่ 9 ถึงรูปที่ 11 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดมากที่สุดคือกรณีที่ 1 รองลงมาคือกรณีที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือกรณีที่ 3 ซึ่งจากรูปจะแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะช่วยลดผลกระทบของการแกว่งของพลังงานในระบบอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายพลังงานลมได้มากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV แบบนี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ดีที่สุดและช่วยชดเชยความถี่ให้ระบบได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ



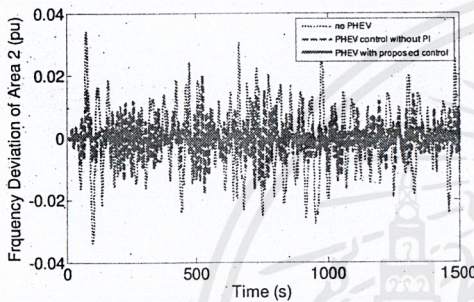
รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของพลังที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อม



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 1

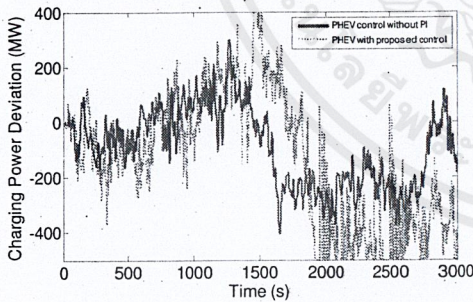


รูปที่ 13 เปรียบเทียบ IAE ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความถี่ในพื้นที่ 2

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV เปรียบเทียบกันระหว่าง สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 จะเห็นได้ว่ารูปกราฟในสภาวะที่ 3 จะมีการตอบสนองต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมากกว่า สภาวะที่ 2 ทำให้สามารถควบคุมความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า



รูปที่ 12 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV

ในรูปที่ 13 จะเป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ของ integrare area error ของความถี่ในพื้นที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งาน PHEV ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสภาวะที่มีการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่มีตัวควบคุม PI อยู่ด้วยจะมีค่าความผิดพลาดของความถี่ที่น้อยกว่าในสภาวะอื่นๆอย่างมาก

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งต่อเชื่อม และความถี่ ที่เกิดจากการผลิตกำลังไฟฟ้าที่สม่ำเสมอของพลังงานลม โดยใช้การควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ซึ่งผลที่ได้คือการควบคุมการชาร์จกำลังไฟฟ้าของ PHEV ที่นำเสนอ นั้นสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง และความถี่ระบบได้อย่างมากเมื่อเทียบกับระบบที่มี PHEV ไม่มีตัวควบคุมและระบบที่ไม่มี PHEV

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Saaadat, "Power System Analysis," McGraw-Hill, 1999.
- [2] T. Michigami and T. Oishi: "Construction of dynamic fluctuation load model and simulation with AFC-control of BTB interconnection", IEEJ Trans. PE, Vol. 120, No. 7, pp. 954-961, 2000
- [3] M.Takagi, K.Yamaji "Power System Stabilization by Charging Power Management of Plug-in Hybrid Electric Vehicles with LFC Signal", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009
- [4] G. Gross and J.W. Lee, "Analysis of Load Frequency Control Performance Assessment Criteria," IEEE Transaction on Power System. Vol.16, no.3, August. 2001. pp. 520-525.
- [5] D. kundur, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill, 1994
- [6] M. ARita, A. Yokoyama and Y. Tada: "A basic study on suppression of power flow deviation on interconnecting transmission the between FFC and TBC networks using battery system as energy storage", IEEJ Trans. PE, Vol. 128, No. 7 pp.953-960,2008
- [7] Technical Committee on Local Frequency Control on Steady and Emergency Power System: "Local frequency control on steady and emergency power system", IEEJ Technical Report, No. 869, 2002

สัญลักษณ์และคำย่อต่าง ๆ ที่ใช้ในปริญญาโท

สัญลักษณ์

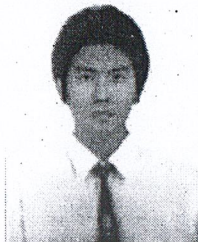
| | | |
|------------------|---|--|
| Δf | - | การเปลี่ยนแปลงของความถี่ (Frequency Deviation) |
| ΔP_{tie} | - | การเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ไหลในสายเชื่อมต่อ (Tie-Line Power Deviation) |
| ΔP_v | - | การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวาล์วไอน้ำ (Valve Position Deviation) |
| Δv | - | การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Deviation) |
| T_a | - | แรงบิดเร่ง (Accelerating Torque) |
| T_m | - | แรงบิดทางกล (Mechanical Torque) |
| T_e | - | แรงบิดทางไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (Electrical Torque Output) |
| J | - | ค่ารวมของเครื่องเฉื่อยชั่วขณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Inertia of Generator) |
| ω_m | - | ความเร็วเชิงมุมทางกลของโรเตอร์ (Mechanical Rotor Angular Velocity) |
| H | - | ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant) |
| ω_r | - | ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์ (Electrical Rotor Angular Velocity) |
| ω_0 | - | ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) |
| P_f | - | จำนวนขั้วของขดลวดสนาม (Field Poles) |
| δ | - | มุมโรเตอร์ (Rotor Angle) |
| ΔP_m | - | การเปลี่ยนแปลงพลังงานทางกล (Mechanical Power Deviation) |
| ΔP_e | - | การเปลี่ยนแปลงกำลังทางไฟฟ้า (Electrical Power Deviation) |
| ΔP_L | - | การเปลี่ยนแปลงของโหลด (Load Deviation) |
| D | - | สัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping Coefficient) |
| T_T | - | ค่าคงที่ทางเวลาของวาล์ว (Valve Time Constant) |
| ΔP_g | - | การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกัลวานอร์ |
| T_g | - | ค่าคงที่ทางเวลาของกัลวานอร์ (Governor Time Constant) |
| R | - | ค่ารูปของกัลวานอร์ (Governor Droop) |
| X_{tie} | - | ค่ารีแอกแตนซ์ของสายเชื่อมต่อ (Tie-Line Reactance) |
| k_i | - | ค่าอัตราขยายของพื้นที่ i (Area Gain) |
| B_i | - | ค่าสัมประสิทธิ์ไบอัสของพื้นที่ i (Bias Coefficient) |
| T_{PHEV} | - | ค่าคงที่ในการชาร์จ (PHEV Time Constant) |
| K_i | - | ค่าอัตราขยายการอินทิเกรต (Integral Gain) |
| K_p | - | ค่าอัตราขยายอัตราส่วน (Proportional Gain) |

คำย่อ

| | | |
|------|---|--|
| PHEV | - | รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) |
| ACE | - | ตัวควบคุมความถี่ในพื้นที่ (Area Control Error) |
| IAE | - | การหาพื้นที่ความผิดพลาด (Integrated Area Error) |
| LFC | - | การควบคุมความถี่ (Load Frequency Control) |
| AVR | - | ตัวควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator) |
| AGC | - | ตัวควบคุมการผลิตอัตโนมัติ (Automatic Generation Control) |
| HPF | - | ตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter) |
| LPF | - | ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) |



ประวัติผู้เขียน



นายบัณฑิต สมหวัง เกิดเมื่อวันที่ 17 ตุลาคม 2531 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบางกะปิ กรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550

E-Mail: dragonball_zzz01@hotmail.com

ฝึกงานที่ : maizuru national college of technology



นายนิรุตร์ วิสุทธิชัย เกิดเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2532 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี เมื่อปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550

E-Mail: chocoball_nirut@hotmail.com

ฝึกงานที่ : บริษัท เอบีบี (ไทยแลนด์) จำกัด

(แผนก Low Voltage Switchgear / QC)



นางสาวพรพรหม หิรัญมงคลรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2531 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา เมื่อปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550

E-Mail: seraph_numfar@hotmail.com