

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## การควบคุมความถี่ – โหลด ของการเชื่อมต่อระบบการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์มและกังหันลม

สวัสดี ยุคะลิ่ง\*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
41 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอมะนัง จังหวัดตาก 63000

รับบทความ 13 กรกฎาคม 2560; ตอรับบทความ 5 กุมภาพันธ์ 2561

### บทคัดย่อ

ผลของการควบคุมความถี่ – โหลด ของระบบไฟฟ้ากำลังของสถานีแต่ละแห่งที่เชื่อมโยงระบบกำลังในแต่ละพื้นที่ที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้า, สมรรถนะความถี่ – โหลด, และผลตอบสนองความถี่ในระบบที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (ดีจี) ที่เชื่อมโยงพื้นที่และเชื่อมต่อระบบ มีความสำคัญจำเป็นอย่างมากต่อการควบคุมระบบการเชื่อมโยงไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่เพื่อให้มีเสถียรภาพและผลตอบสนองที่ดีต่อระบบไฟฟ้า ระบบการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมที่มีการเชื่อมโยงระบบระหว่างพื้นที่ที่ได้จากการจำลองจากพารามิเตอร์ของแหล่งพลังงานทดแทนทั้งสองด้วยตัวควบคุมชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบการปรับค่าแรงดันอัตโนมัติ (เอวีอาร์) และชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ ผลการจำลองการทำงานของระบบทั้ง 3 แบบการควบคุม ขณะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดจากการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ เมื่อโหลดในพื้นที่หนึ่งมีการเปลี่ยนแปลง 0.02 หน่วย มีเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ 0.025 เฮิร์ตซ์ เปรียบเทียบผลตอบสนองที่สถานะคงที่ค่าเวลาแบบที่ยังไม่มีการควบคุมเป็น 7.9 วินาที กับแบบที่ใช้การควบคุมการปรับแรงดันอัตโนมัติ เป็น 5.4 วินาที และแบบที่ใช้พีไอเป็นตัวควบคุมที่ค่าเกนอินทิเกรตควบคุมของพื้นที่ 0.1 ต่อหน่วย เป็น 1.7 วินาที ซึ่งการใช้พีไอเป็นตัวควบคุมได้ค่าสมรรถนะที่ดีกว่าแบบที่ยังไม่มีการควบคุมร้อยละ 31 และดีกว่าแบบที่ใช้การควบคุมการปรับแรงดันอัตโนมัติร้อยละ 16 ผลการจำลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมการเชื่อมโยงระบบที่มีความหลากหลายของแหล่งจ่าย ที่จ่ายเข้ากับระบบของการไฟฟ้าที่สะสมพลังงานในระบบจำหน่ายกำลังที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้มีความเหมาะสมที่สุดของระบบการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมที่มีการเชื่อมโยงระบบให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าพิกัดของการควบคุมความสมดุลของกำลังไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมโยงกันของพื้นที่การเชื่อมโยงเดิม

คำสำคัญ: การควบคุมความถี่-โหลด; โซลาร์ฟาร์ม; กังหันลม; การเชื่อมต่อระบบ

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +66 5551 5900, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: yu\_sawat@hotmail.com

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## Load Frequency Control of Solar Farm and Wind Turbine for Interconnected Power System

Sawat Yukhalang\*

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna  
41 Paholayothin Road, Mai Ngam, Muang, Tak, 63000

---

*Received 13 July 2017; Accepted 5 February 2018*

### Abstract

The effects of load frequency control (LFC) of interconnected distribution power system in tie-line substation area, load – frequency stability and the frequency respond at distribution generator (DG) are very important for interconnected control power system of tie – line area. The generating power system of solar farm and wind turbine which have interconnected distribution power system in tie – line substation area were tested using 3 simulation parameters: non-controller, Automatic Voltage Regulator (AVR) and with PI Controller. The results showed that there were 3 types of load and frequency changing in the interconnected area: load changed 0.02 p.u. had frequency of load changed 0.025 Hz and large disturbance. Comparisons of load - frequency to respond for steady state, the time respond was 7.9 seconds for non-controller, 5.4 seconds for AVR and 1.7seconds for under controlled system at 0.1 p.u. using PI controller. Therefore, the PI controller has better efficiency than non-controller about 31 % and AVR about 16 %. It can be concluded that the interconnected distribution power system in tie-line substation area controlling for storage for connected grid had better efficiency and optimization of generating power from renewable solar farm and wind turbine which have interconnected distribution power system in the nearby are balance of controlling of the original system.

**Keywords:** Load Frequency Control; Solar Farm; Wind Turbine; Interconnected Power System

## 1. บทนำ

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าในปัจจุบัน มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะการจำหน่ายไฟฟ้าเท่านั้น การรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กก็มีการเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าปฏุมภูมิ ทำให้ความต้องการศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าปฏุมภูมิมีความสำคัญมากขึ้นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ามีความยุ่งยากแนวทางการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าการรวมโหลดในระบบจำหน่ายแล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเป็นแนวทางที่นิยมนำมาแก้ปัญหาผลเฉลยเปรียบเทียบ เพื่อเข้าใจระบบมากยิ่งขึ้น [1] เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบันมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น ผลกระทบของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เชื่อมต่อในระบบจำหน่ายไฟฟ้าความมั่นคงในการส่งไฟฟ้า หากเกิดเหตุขัดข้องสามารถแก้ไขให้ไฟฟ้าดับกลับคืนในเวลารวดเร็วรวมถึงผลกระทบต่ออุปกรณ์ เสถียรภาพของระบบ จึงมีการศึกษาผลกระทบของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายทางด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ระดับแรงดัน การตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกัน การทำงานของอุปกรณ์ชดเชยแรงดัน และเสถียรภาพของระบบจากสภาวะทำงานเองโดยอิสระ (Islanding) รวมถึงความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว [2], [3] จากระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงกันในพื้นที่ควบคุมและเชื่อมโยงการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับเสถียรภาพของระบบที่เป็นโครงข่าย การควบคุมความถี่-โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงด้วยตัวควบคุมแบบต่าง ๆ จึงได้นำมาศึกษา วิเคราะห์ และวางแผนออกแบบพัฒนาปรับปรุงตัวควบคุม ระบบควบคุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่-โหลด ช่วงการจ่ายพลังงานของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง [4] ทั้งนี้ในแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นพลังงานไฟฟ้าทดแทนที่เป็นโซลาร์ฟาร์ม พลังงานลมที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลายในปัจจุบันที่ต่ออยู่กับ

ระบบจำหน่าย มีข้อดีในช่วงสายส่งระยะทางไกลหรือปลายสายจะช่วยยกแรงดันโหลดให้สูงขึ้น แต่ก็มีข้อจำกัดทั้งด้านปรับการตั้งค่าอุปกรณ์ชดเชยแรงดันใหม่ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับแสงแดดหรือพลังงานลมหรือแรงดันที่จะสูงเกินไปเมื่อมีโหลดน้อย ทำให้การควบคุมความถี่-โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงในพื้นที่ควบคุมต้องมีการออกแบบระบบควบคุมหรือตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม [5] ซึ่งได้ถูกนำมาออกแบบปรับปรุงตัวควบคุมที่หลากหลายทั้งแบบใช้พีซีลอจิก การต่ออันดับชุดควบคุมบังคับวาล์ว การใช้ตัวเก็บประจุช่วยในการรักษาแรงดัน ปัญหาที่เกิดจากระบบการควบคุมการเชื่อมโยงในพื้นที่ [6]-[10] เป็นต้นจากระบบควบคุมและผลตอบสนองความถี่ของการเชื่อมโยงที่ต้องการประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบและตัวควบคุมดังกล่าว การควบคุมความถี่-โหลด ของการเชื่อมต่อระบบการผลิตไฟฟ้าจาก โซลาร์ฟาร์มและกังหันลมที่จำลองระบบจากพารามิเตอร์จริงของทั้งสองแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว[11]-[14] ดังที่นำเสนอ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการปรับปรุงการควบคุมความถี่-โหลด ของระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบเชื่อมโยงของพื้นที่ที่เป็นระบบมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ขึ้นอยู่กับตัวควบคุมความถี่วงจรควบคุมความถี่ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเสถียรภาพแก่ระบบได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น การพัฒนาและปรับปรุงตัวควบคุมความถี่ของโหลดได้รับความนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหามากอีก วิธีการหนึ่งคือการออกแบบตัวควบคุมความถี่-โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเสถียรภาพและลดการแกว่งของระบบให้น้อยมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น การทดสอบด้วยแบบจำลองซึ่งกระทำด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์มและพลังงานลมในการจำลองระบบแบบสองพื้นที่ ที่จ่ายเข้ากับระบบของการไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัยนี้

### 2.1 ขั้นตอนการวิจัย

ส่วนของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าของการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติหรือการควบคุมความถี่-โวลต์ที่เป็นกลไกจะทำให้เกิดความสมดุลของการจ่ายกำลังไฟฟ้า

#### 2.1.1 แบบจำลองของโวลต์

โวลต์ไฟฟ้ากำลังมีความถี่ที่เกิดขึ้นภายในตัวเอง โวลต์ประเภทมอเตอร์ก็เป็นโวลต์ประเภทเปลี่ยนแปลงความถี่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะความเร็วของโวลต์และส่วนประกอบหลาย ๆ อย่างทางด้านระบบขับเคลื่อนพิจารณาจากสมการที่ (1)

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega \tag{1}$$

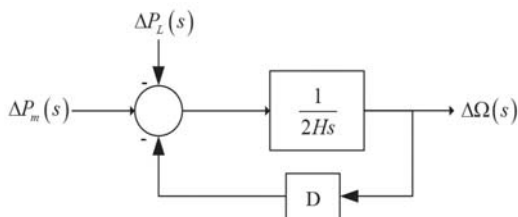
โดยที่

$\Delta P_L$  = การเปลี่ยนแปลงของโวลต์ไม่มีผลทางด้านความถี่

$\Delta P_e$  = กำลังทางด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$D\Delta\omega$  = การเปลี่ยนแปลงของโวลต์ที่มีผลต่อความถี่, โดย D เป็นร้อยละของโวลต์ต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่

สามารถแสดงไดอะแกรมควบคุมดังรูปที่ (1)



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของโวลต์

#### 2.1.2 การควบคุมการเชื่อมโยงของสองพื้นที่

เป็นการที่จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงสมดุลเพื่อรักษาค่าความถี่ให้คงที่และทำให้พื้นที่ควบคุมความถี่-โวลต์ เชื่อมโยงในแต่ละพื้นที่ให้ค่าการควบคุมเข้าสู่ศูนย์จากระบบการเชื่อมโยงและสมการเทียบเท่าทางไฟฟ้ารวมถึงบล็อกไดอะแกรมจะสามารถหาการไหลกำลังไฟฟ้าของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่จาก พื้นที่ 1 ถึง พื้นที่ 2 ตามสมการที่ (2)

$$P_{12} = \frac{E_1 E_2}{X_T} \sin\delta_{12} \tag{2}$$

โดยที่

$P_{12}$  = การไหลกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2

$E_1$  = แรงดันไฟฟ้าของพื้นที่ 1

$E_2$  = แรงดันไฟฟ้าของพื้นที่ 2

$X_T$  = ค่ารีแอ็กแตนซ์รวม ( $X_T = X_1 + X_{uc} + X_2$ )

$\delta_{12}$  = มุมที่เปลี่ยนแปลงของการเชื่อมโยง ( $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ )

#### 2.1.3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม

เป็นการใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจำลองระบบการเชื่อมโยงความถี่-โวลต์ แบบสองพื้นที่ทั้งชนิดที่ไม่มีการควบคุมอัตโนมัติกับการใช้ตัวควบคุมแบบการปรับแรงดันอัตโนมัติและแบบพีไอของโซลาร์ฟาร์มและกังหันลมที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวม 13.3 เมกกะวัตต์ เป็นระบบที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

### 2.2 การควบคุมระบบการเชื่อมโยงไฟฟ้าของโซลาร์ฟาร์มและกังหันลม

ในระบบการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมที่มีการเชื่อมโยงระบบระหว่างพื้นที่การควบคุมระบบการเชื่อมโยง

โยงจะพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงผันพลังงานจากโซลาร์ฟาร์ม ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องจักรกลแบบอินดักชันของกังหันลมสำหรับการออกแบบและจำลองระบบการควบคุม

2.2.1 แบบจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่

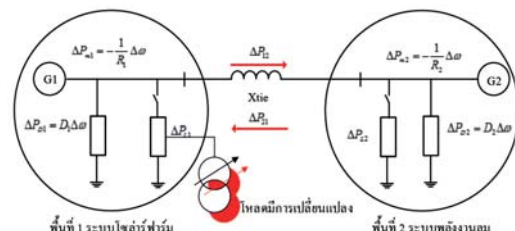
พิจารณาการเชื่อมโยงระบบกำลังประกอบไปด้วยพื้นที่สองพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันโดยมีคาร์แน็กแอนด์ (X<sub>tie</sub>) ระหว่างการเชื่อมโยงสำหรับสมรรถนะความถี่ โหลดผลตอบสนองความถี่ และสมการเทียบเท่าของระบบในการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่สองพื้นที่ การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดมีค่าเพิ่มขึ้นในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งจะส่งผลให้โหลดอีกพื้นที่หนึ่งมีค่าลดลง ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลซึ่งจะบอกถึงมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยพิจารณาจากทั้งสองพื้นที่ใช้สภาวะความถี่เดียวกัน จะได้สมการที่ (3)

$$\Delta P_{12} = -\frac{\left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)} = \frac{B_2}{B_1 + B_2} (-\Delta P_{L1}) \quad (3)$$

โดยที่

- $\Delta P_{12}$  = การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2
- $\Delta P_{L1}$  = การเปลี่ยนแปลงของโหลดพื้นที่ 1 ไม่มีผลทางด้านความถี่
- $B_1$  = ค่าแฟคเตอร์ไบอัสของความถี่พื้นที่ 1
- $B_2$  = ค่าแฟคเตอร์ไบอัสของความถี่พื้นที่ 2
- $R_1$  = ค่าการปรับความเร็วของชุดควบคุมพื้นที่ 1
- $R_2$  = ค่าการปรับความเร็วของชุดควบคุมพื้นที่ 2
- $D_1$  = ค่าคงที่ของความถี่โหลดพื้นที่ 1
- $D_2$  = ค่าคงที่ของความถี่โหลดพื้นที่ 2

สามารถแสดงไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงของโหลดในพื้นที่ดังรูปที่ (2)



รูปที่ 2 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ของโหลดแบบสองพื้นที่

2.2.2 พารามิเตอร์ของระบบสำหรับตัวควบคุม

ในหัวข้อนี้จะใช้ตัวควบคุมความถี่-โหลดแบบพีไอจากระบบที่ไม่ได้ใช้ตัวควบคุมแบบอัตโนมัติโดยการเลือกใช้ตัวแปรความสัมพันธ์ของแบบอัตราส่วนกับการอินทิเกรตเพื่อจะได้ค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Index: J) โดยการใช้วิธี Integral of The Square of The Error (ISE) เนื่องด้วยวิธีนี้ค่าความผิดพลาดของฟังก์ชันยกกำลังสองของตัวอินทิเกรตนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาไม่ว่าค่าความผิดพลาดจะบวกหรือลบ ทำให้ระบบจะให้ค่าน้อยมากที่อัตราการหวน [15] ที่กำลังไฟฟ้าพื้นที่หนึ่งและพื้นที่สองเป็น 22 เมกกะวัตต์ และ 17.5 เมกกะวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งที่ β<sub>1</sub> เท่ากับ 0.515 จะได้ค่า J เท่ากับ 0.035 และ K<sub>i</sub> เท่ากับ 0.27 ค่า K<sub>p</sub> เท่ากับ 0.97 มีการจำลองระบบและผลกระทบของดีจีย่อยระหว่างพื้นที่ที่เชื่อมโยงดังแสดงในสมการที่ (4), (5), (6) และดังแสดงในรูปที่ (3), (4), (5)

$$U_i = -K_i \int_0^t (ACE_i) dt = K_i \int_0^t (\Delta P_{tie} + b_i f_i) dt \quad (4)$$

$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{tie,ij} + b_i \Delta f_i \quad (5)$$

$$J = \int_0^t (\Delta F_1^2 + \Delta F_2^2 + \Delta P_{tie}^2) dt \quad (6)$$

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + K_D s = PID \quad (7)$$

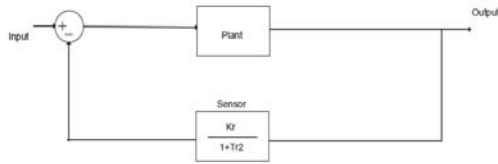
โดยที่

$\Delta F$  = การเปลี่ยนแปลงความถี่

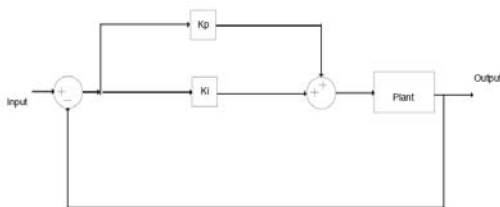
$\Delta P_{tie}$  = การเปลี่ยนแปลงกำลังของการเชื่อมโยง

$B_i$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ป้อนกลับของพื้นที่

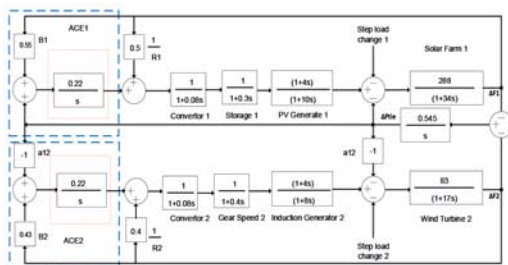
$ACE_i$  = การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ควบคุม



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมควบคุมของแบบเอวีอาร์



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมควบคุมของแบบพีไอดี

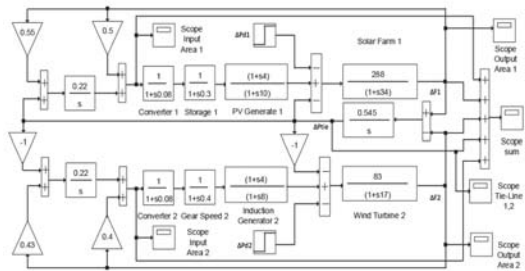


รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

### 2.2.3 การจำลองระบบการใช้ตัวควบคุม

การควบคุมการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ โดยการทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงสมดุลเพื่อรักษาค่าความถี่ให้คงที่และทำให้พื้นที่ควบคุมแต่ละพื้นที่เป็นศูนย์ที่เบสเท่ากับ 20 เมกกะโวลต์แอมป์ของระบบการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลม มีค่าการเปลี่ยนแปลงโหลดเท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย (Step Load) ที่พื้นที่ 1 ชุดระบบปรับความเร็วของระบบการจ่ายกำลังร้อยละเท่ากับ 10 และที่พื้นที่ 2 ร้อยละเท่ากับ 4

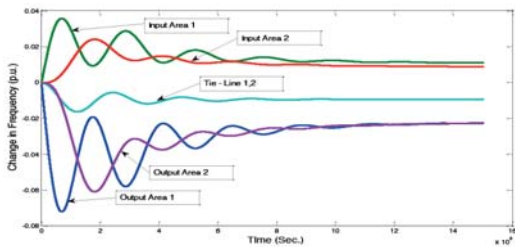
ที่การเปลี่ยนแปลงความถี่ในสภาวะคงที่ ( $\Delta f$ ) เท่ากับ 0.025 เฮิร์ตซ์ มีค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่โหลดในพื้นที่ 1 ( $\Delta P_{D1}$ ) เท่ากับ 0.026 เมกกะวัตต์ และค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่โหลดในพื้นที่ 2 ( $\Delta P_{D1}$ ) เท่ากับ 0.012 เมกกะวัตต์,  $\Delta P_{G2}$  เท่ากับ -0.723 เมกกะวัตต์ เท่ากับ -0.275 เมกกะวัตต์จะได้ค่าในพื้นที่ 1 ใหม่ คือมีโหลดเท่ากับ 8.545 เมกกะวัตต์, ที่กำลังการจ่ายเท่ากับ 9.211 เมกกะวัตต์ในพื้นที่ 2 ใหม่มีโหลดเท่ากับ 1.004 เมกกะวัตต์ ที่เครื่องกำเนิดเท่ากับ 1.284 เมกกะวัตต์ และระบบการเชื่อมโยงจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2 เท่ากับ 1.065 เมกกะวัตต์ที่ความถี่ใหม่ 50.025 เฮิร์ตซ์ดังแสดงในรูปที่ (5)



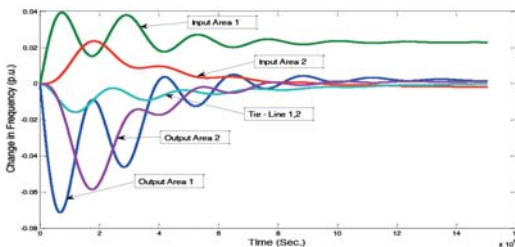
รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

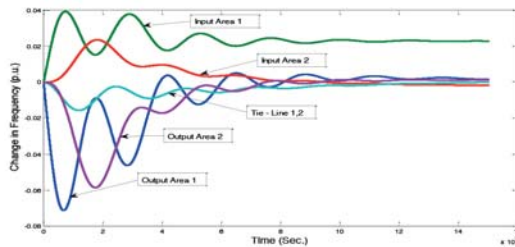
ผลการจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ที่ไม่ใช้ตัวควบคุม ใช้การปรับค่าแรงดันและใช้พีไอเป็นตัวควบคุมรวมค่าสัญญาณที่ได้ทั้งทางด้านเข้าทางด้านการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่และทางด้านออกแสดงดังรูปที่ (5-7)



รูปที่ 7 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ



รูปที่ 8 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยใช้การปรับแรงดันเป็นตัวควบคุม



รูปที่ 9 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยใช้พีไอเป็นตัวควบคุม

จากรูปที่ (7-9) ผลการจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ที่ไม่ใช้ตัวควบคุม การปรับแรงดันอัตโนมัติและแบบใช้พีไอ เป็นตัวควบคุมรวมค่าสัญญาณที่ได้ทั้งทางด้านเข้าทางด้านการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่และทางด้านออกแสดงค่าดังตารางที่ (1-3) ที่แสดงค่าผลของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าและผลตอบสนองความถี่ เมื่อใช้การเปลี่ยนแปลงโหลดเป็นแบบทันทีทันใดที่ 0.02 ต่อหน่วยจากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าทางด้านพื้นที่เชื่อมโยง 1, 2 ของทั้งสองแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม, แบบปรับค่าแรงดันและแบบพีไอได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 6.1, 3.2 และ 1.6 วินาที และค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ 6.71, 0.012 และ 0.006 ตามลำดับ แสดงให้เห็นคุณลักษณะของพื้นที่ที่มีการควบคุมการเชื่อมโยงและมีโหลดในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1 ผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่

พื้นที่เชื่อมโยง 1,2 (Steady State Error = 0 p.u.)	Setting	Maximum
	Time (Sec)	Overshoots
ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม	6.1	6.71
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบ การปรับค่าแรงดัน	3.2	0.012
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ	1.6	0.006

ตารางที่ 2 ผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านเข้าที่พุด พื้นที่ 1

พื้นที่ 1 (Steady State Error = 0 p.u.)	Setting	Maximum
	Time (Sec)	Overshoots
ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม	8.1	0.028
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบ การปรับค่าแรงดัน	6.3	0.010
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ	3.5	0.005

### ตารางที่ 3 ผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านเข้าที่พุด พื้นที่ 2

พื้นที่ 2 (Steady State Error = 0 p.u.)	Setting Time (Sec)	Maximum Overshoots
ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม	2.1	0.057
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบการปรับ ค่าแรงดัน	4.3	0.010
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีโอ	5.9	0.084

จากตารางที่ (2) ผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านเข้าที่พุด พื้นที่ 1 ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม, แบบปรับค่าแรงดันและแบบพีโอได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 8.1, 6.3 และ 3.5 วินาที มีค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.028, -0.010 และ -0.005 และจากตารางที่ (3) ผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านเข้าที่พุด พื้นที่ 2 ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุม, แบบปรับค่าแรงดันและแบบพีโอได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 2.1, 4.3 และ 5.9 วินาที มีค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.057, -0.010 และ -0.084 ตามลำดับ

#### 4. สรุป

ผลจากการทดลองการเชื่อมโยงระบบกำลังไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ของแหล่งผลิตไฟฟ้าโซลาร์ฟาร์มและกังหันลมที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า 10 เมกกะวัตต์ และ 2 เมกกะวัตต์ นั้น ที่เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง 2 เมกกะวัตต์ และโหลดมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ 0.025 เฮิรตซ์ตามลำดับ เปรียบเทียบผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ค่าเวลาแบบที่ยังไม่มีการควบคุมเป็น 6.1 วินาที กับแบบที่ใช้การควบคุมการปรับแรงดัน เป็น 3.2 วินาทีและแบบที่ใช้พีโอเป็นตัวควบคุมที่ค่าเกนอินทิเกรตควบคุมของพื้นที่ 0.1 ต่อหน่วย เป็น 1.6 วินาที ซึ่งการใช้พีโอเป็นตัวควบคุมได้ค่าสมรรถนะที่ดีกว่าแบบที่ยังไม่มีการ

ควบคุมร้อยละ 31 และดีกว่าแบบที่ใช้การควบคุมการปรับแรงดันอัตโนมัติร้อยละ 16 ของการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบทันทีทันใด

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานแสงอาทิตย์และไฟฟ้าพลังงานน้ำ และโครงการฝึกประสบการณ์ในสถานประกอบการสำหรับอาจารย์บรรจุใหม่ในปี 2558 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Pongjunthok et al., "Practical Load Grouping in Primary Distribution System," in *Proceeding of Electrical Engineering Network 2012 of Rajamangala University of Technology (EENET 2012)*, Nongkhai, Thailand, 2012, pp. 152-155.
- [2] W. Sumrutdee, T. Lantarnthong and N. rakchartchareanchep, "Impact of Distributed Generation in Distribution System," in *Proceeding of Electrical Engineering Network 2012 of Rajamangala University of Technology (EENET 2012)*, Nongkhai, Thailand, 2012, pp. 176-179.
- [3] W. Sumrutdee, T. Lantarnthong and N. rakchartchareanchep, "Reliability Evaluation in Distribution System with Distributed Generation," in *Proceeding of Electrical Engineering Network 2012 of Rajamangala University of Technology (EENET 2012)*, Nongkhai, Thailand, 2012, pp. 200-203.
- [4] S. Yukhalang, "Comparison of Load-Frequency Control of Interconnected



- Power System with Fuzzy Logic and Artificial Neural Network Controller,” *RMUTP Research Journal Special Issue, Engineering*, pp. 134-144. 2013.
- [5] P. Vidya Sagar, K. Shanthi Swarup, “Load frequency control in isolated micro-grids using centralized model predictive control,” in *Proceeding of 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Indian Institute of Technology Chennai, India, 2016, pp. 1–6.
- [6] Irna Tri Yuniahastuti, Izza Anshori and Imam Robandi, “Load Frequency Control (LFC) of Micro-hydro Power Plant with Capacitive Energy Storage (CES) using Bat Algorithm (BA),” in *Proceeding of 2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)*, Sepuluh Nopember Institute of Technology, ITS Surabaya, Indonesia, 2016, pp. 147–151.
- [7] Devashish Sharma and et al., “Load frequency control of four-area hydro-thermal inter-connected power system through ANFIS based hybrid neuro-fuzzy approach,” in *Proceeding of 2016 Second International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)*, Amity University Uttar Pradesh, Noida India, 2016, pp. 144–149.
- [8] Ashraf Khalil and Zakariya Rajab, “Load frequency control system with smart meter and controllable loads,” in *Proceeding of 2017 8th International Renewable Energy Congress (IREC)*, University of Benghazi, Benghazi, Libya, 2017, pp. 1–6.
- [9] Xiangjie Liu, Yi Zhang and Kwang Y. Lee, “Coordinated Distributed MPC for Load Frequency Control of Power System with Wind Farms,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 6, pp. 5140–5150, June 2017.
- [10] Miaomiao Ma and et al., “Distributed Model Predictive Load Frequency Control of the Multi-Area Power System after Deregulation,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 6, pp. 5129–5139, June 2017.
- [11] Liang cheng Cai and et al., “A New Load Frequency Control Method of Multi-Area Power System via the Viewpoints of Port-Hamiltonian System and Cascade System,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 1689–1700, May 2017.
- [12] Vijay Pratap Singh, Nand Kishor and Paulson Samuel, “Distributed Multi-Agent System-Based Load Frequency Control for Multi-Area Power System in Smart Grid,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 6, pp. 5151–5160, June 2017.
- [13] Jonglak Pahasa and Issarachai Ngamroo, “Coordinated Control of Wind Turbine Blade Pitch Angle and PHEVs Using MPCs for Load Frequency Control of Micro

- grid,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 10, no. 1, pp. 97–105, March 2016.
- [14] Vahid Gholamrezaie and et al., “An Optimal Frequency Control Method Through a Dynamic Load Frequency Control (LFC) Model Incorporating Wind Farm,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. PP, no. 99, pp. 1–10, March 2017.
- [15] Mehdi Tavakoli, JafarAdabi and Sasan Zabihi, “Improving load frequency control through PV contribution in a hybrid generation grid,” in *Proceeding of 2015 Smart Grid Conference (SGC)*, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, 23-24 Dec. 2015, pp. 7–13.