

การเปรียบเทียบการควบคุมความถี่-โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง
แบบใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียม
Comparison of Load-Frequency Control of Interconnected Power System
With Fuzzy Logic and Artificial Neural Network Controller

สวัสดี ยุคส์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดตาก 63000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งปัจจุบันตัวควบคุมทั้งฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในเกือบทุกระบบของการควบคุมรวมถึงงานวิศวกรรม และอุตสาหกรรม เนื่องจากพฤติกรรมของความถี่ของโหลดระบบไฟฟ้าทั้งที่ไม่มีการควบคุมหรือมีการควบคุมแบบพีไอหรือแบบฟัซซีลอจิกเป็นตัวควบคุมยังต้องมีความต้องการให้เสถียรภาพของการควบคุมความถี่ของโหลดระบบไฟฟ้าทั้งช่วงเริ่มต้นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและช่วงการจ่ายโหลดให้เข้าสู่ภาวะเสถียรได้รวดเร็วยิ่งมากขึ้น ระบบการควบคุมและตัวควบคุมที่ทำหน้าที่ควบคุมจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะดำเนินการปรับปรุงเสถียรภาพของการจ่ายพลังงานไฟฟ้าระบบเชื่อมโยงไฟฟ้าช่วงดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้การควบคุมความถี่ของโหลดไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาปรับปรุงแก้ไขเป็นตัวควบคุมความถี่เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพให้ดีกว่าแบบฟัซซีลอจิก ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวม 47.55 เมกกะวัตต์ โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่โรงไฟฟ้า No.3 เท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย หรือ 1.75 เมกกะวัตต์

Abstract

This paper is a presentation of the Load-Frequency Control (LFC) of Interconnected Power System by using Fuzzy Logic and Artificial Neural Network (ANN) Controller. The both of controller have been widely applied for handling the system control of Industries and Engineering. Since the Load-Frequency behaviors of power system of uncontrolled and PI- Controller or Fuzzy Logic Controller (FLC) wanted to the stability at first of energize and load in a short time. The control system and controller then be significant for to go forward reform stability of interconnected energize power system a short time. In this research we have the Load-Frequency Controller of Interconnected Power System by using Artificial Neural Network Controller the improved can compared with conventional Fuzzy Logic Controller at power total 47.55 MW and load changing of power plan No.3 is 0.02 p.u. (1.75 MW)

คำสำคัญ : การควบคุมความถี่ - โหลด ฟัซซี ลอจิก โครงข่ายประสาทเทียม ระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง

Keywords : Load Frequency Control, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, Interconnected Power System

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ yu_sawat@hotmail.com โทร. 0 5551 1962

1. บทนำ

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะเสถียรภาพนั้นมีความสำคัญ การควบคุมความถี่โหลดที่ผ่านมามีการนำเสนอการควบคุมความถี่โดยระบบควบคุมเอนเนอร์จี้อัตโนมัติและการใช้ ตัวควบคุมแบบพีไอรวมถึงปัญหาของการควบคุมแบบพีไอในแบบสองพื้นที่อย่างไรก็ดีการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมทั้งแบบการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอและการควบคุมความถี่-โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่โดยใช้ ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกรวมถึงการใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้เปรียบเทียบสำหรับโรงพลังงานความร้อนและ พลังงานน้ำเพื่อลดการแกว่งของระบบเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด จึงมีความจำเป็นในการ พิจารณาระบบตัวควบคุมความถี่-โหลดของสองพื้นที่โดยเปรียบเทียบตัวควบคุมแบบพีไอกับฟัซซี่ลอจิก รวมถึงการใช้ โครงข่ายประสาทเทียมกับงานควบคุมไฟฟ้าแบบอื่นและตัวควบคุมอัตโนมัติของระบบที่จะทำให้เกิดเป็นระบบควบคุม แบบอัจฉริยะของเครื่องกำเนิดจึงได้มีการเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมโดยการจำลองรูปแบบตัวควบคุม เป็นแบบ Hybrid Fuzzy Neural Network (HFNN) เชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่การเปรียบเทียบตัว ควบคุมเหล่านี้จึงรวมถึงการปรับปรุงระบบการควบคุมและปัญหาผลกระทบจากการใช้ตัวควบคุมความถี่-โหลด เพื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวควบคุม ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Simmulink/Matlab ตามลำดับ

องค์ประกอบของการนำเสนอบทความนี้ประกอบด้วย การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเทียมที่ เหมาะสมสำหรับการควบคุมความถี่-โหลด โดยการเปรียบเทียบการเรียนรู้ความสัมพันธ์อันกลมกลืนกับเอาต์พุต เพื่ออัปเดตค่าน้ำหนักถ่วง (Weight Update) จากค่าผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการเข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชัน ประเมินผล จำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเทียม ที่ออกแบบมีสมรรถนะในการ ควบคุมความถี่และความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก สุดท้ายจะ กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ สำหรับงานวิจัยลำดับต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 รูปแบบการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่

2.1.1 ระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ทั่วไป

ในการศึกษาและพิจารณาระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ประกอบไปด้วยการเชื่อมโยงดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการ ควบคุมเครื่องกำเนิดแบบอัตโนมัติดังสมการ

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \Gamma P(t) \quad (1)$$

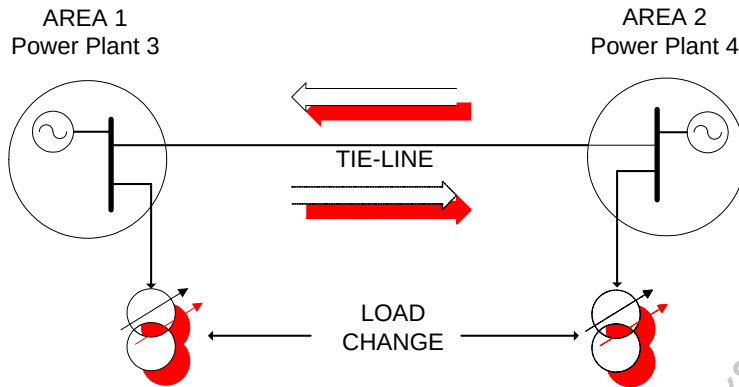
เมื่อ

A คือ ค่าคงที่เมทริกซ์, B และ Γ คือ ค่าคงที่ของเมทริกซ์ด้านเข้า

$$x(t) = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_7]^T$$

$$= [\Delta f_1 \ \Delta f_2 \ \Delta p_{g1} \ \Delta p_{g2} \ \Delta X_{E1} \ \Delta X_{E2} \ \Delta P_{tie}]^T \quad (2)$$

เมื่อ Δf_1 คือ ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่หนึ่ง Δp_{g1} คือ กำลังทางกลที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่หนึ่ง ΔX_{E1} คือ ค่าตำแหน่งควบคุมที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่หนึ่ง Δf_2 คือ ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สอง Δp_{g2} คือ กำลังทางกลที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สอง ΔX_{E2} คือ ค่าตำแหน่งควบคุมที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สอง ΔP_{tie} คือ ค่า กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในการเชื่อมโยงของสองพื้นที่



รูปที่ 1 ไดอะแกรมทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่

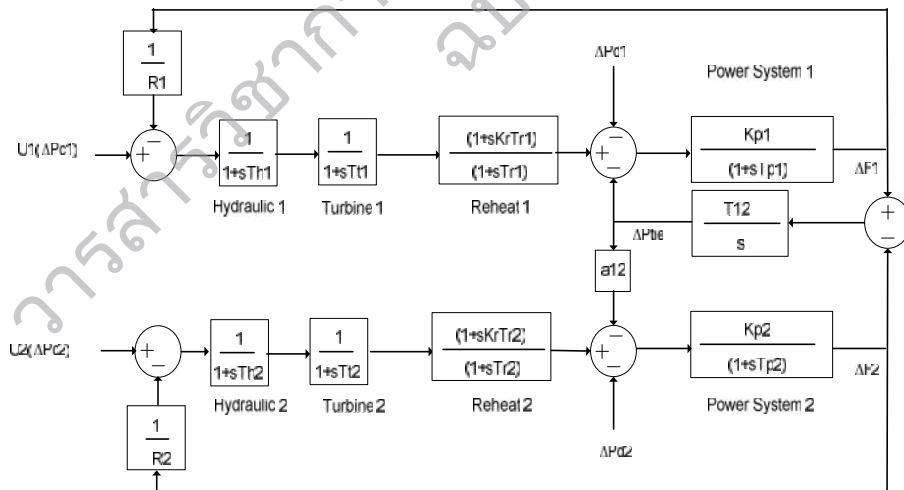
ขั้นแรกของการควบคุมการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ คือการทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงสมดุลเพื่อรักษาความถี่ให้คงที่และทำให้พื้นที่ควบคุม(ACE) แต่ละพื้นที่เป็นศูนย์ตามสมการ

$$u(t) = [\Delta P_{C1} \ \Delta P_{C2}]^T \quad (3)$$

$$P(t) = [\Delta P_{d1} \ \Delta P_{d2}]^T \quad (4)$$

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

เมื่อ B_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ย้อนกลับของพื้นที่ $\Delta P_{tie,ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ และมีบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งแบบไม่มีการควบคุมและมีการควบคุมดังรูปที่ 2

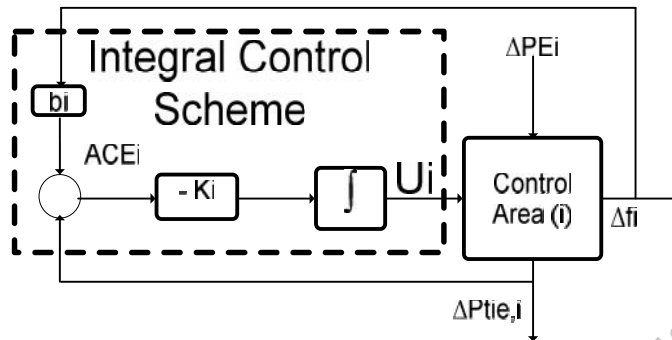


รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรการควบคุมแบบสองพื้นที่

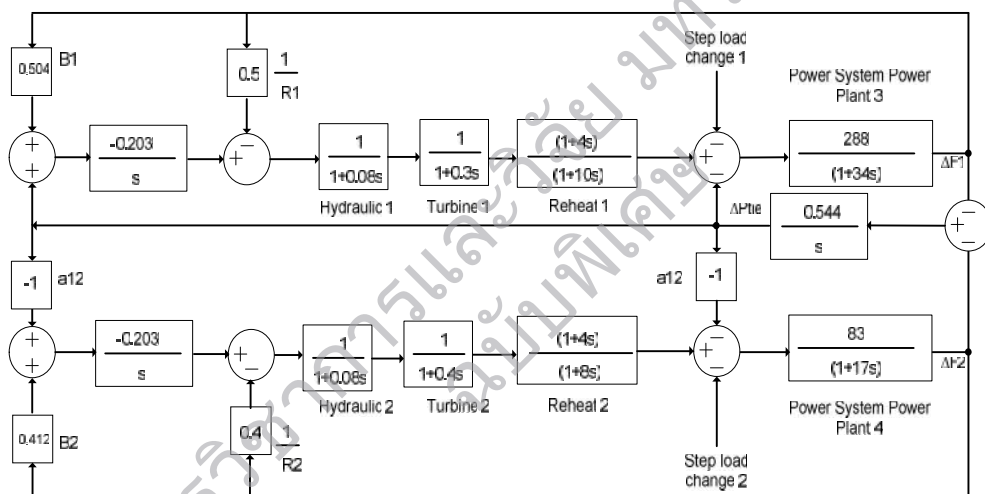
2.1.2 ระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ที่ใช้พีไอเป็นตัวควบคุม

ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบอินทิเกรต (Proportional Integral Controller) ดังสมการควบคุม

$$U_i = -K_i \int_0^t (ACE_i) dt = K_i \int_0^t (\Delta P_{tie,i} + b_i \Delta f_i) dt \quad (6)$$



รูปที่ 3 รูปวงจรควบคุมแบบ PI Controller



รูปที่ 4 รูปไดอะแกรมวงจรควบคุมแบบ PI Controller

2.1.3 ระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ที่ใช้ฟัซซีลอจิกเป็นตัวควบคุม

ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Logic Controller) ประกอบไปด้วยสามขั้นตอน คือ

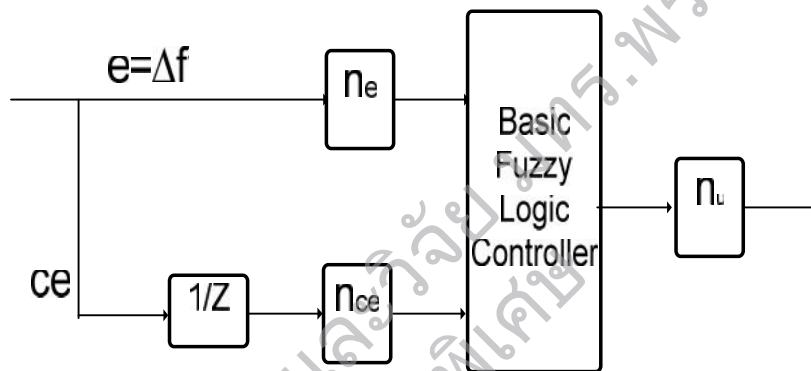
- 1) Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงค่าตัวแปรผ่าน Membership .
- 2) Inference Engine เป็นขั้นตอนการวินิจฉัยผลลัพธ์ว่าควรอยู่ในช่วงใดได้แก่วิธี Center of Area, Maximum
- 3) De-Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงตัวแปรฟัซซีกลับสู่ค่าตัวแปรโดยผ่าน Membership สำหรับการควบคุมความถี่-โวลตโดยการสมมติฐานผลตอบแทนของค่าตัวแปรผิดพลาด(e) และความแตกต่างของข้อผิดพลาด(ce) ดังสมการควบคุม

$$\Delta P_C = F[n_e e(k), n_{ce} ce(k)] \quad (7)$$

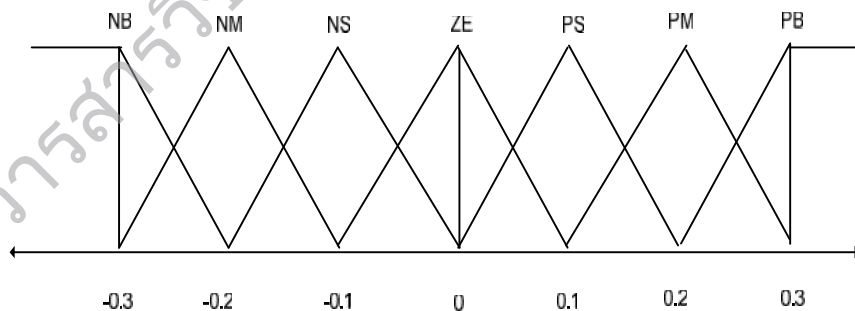
เมื่อค่าตัวแปรผิดพลาดเท่ากับค่าเบี่ยงเบนความถี่(Δf) กำลังไฟฟ้าจริงของระบบ คือ ความแตกต่างระหว่างความถี่กำลังไฟฟ้าจริงของระบบ (f) และ แผนกำหนดการของความถี่กำลังไฟฟ้า (f_n) โดยให้ n_e และ n_{ce} เป็นค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความผิดพลาดตามลำดับ และฟังก์ชันฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น (F) การควบคุมแบบฟuzzyลอจิกคือการอาศัยอัตราส่วนทางด้านเข้าดังรูปที่ 5 และอัตราส่วนทางด้านออกที่ควบคุมคือ n_u และ Z เป็นค่าอันดับสูงสุดของ Membership ในตารางให้ใช้การเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุม $e(k)$ และ $ce(k)$ ด้วยการทดลองค่า = 0.02 pu. ดังนี้

$$L(e, ce) = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PE\} \quad (8)$$

เมื่อ NB = Negative Big, NM = Negative Medium, NS = Negative Small, ZE = Zero, PS = Positive Small, PM = Positive Medium, PB = Positive Big



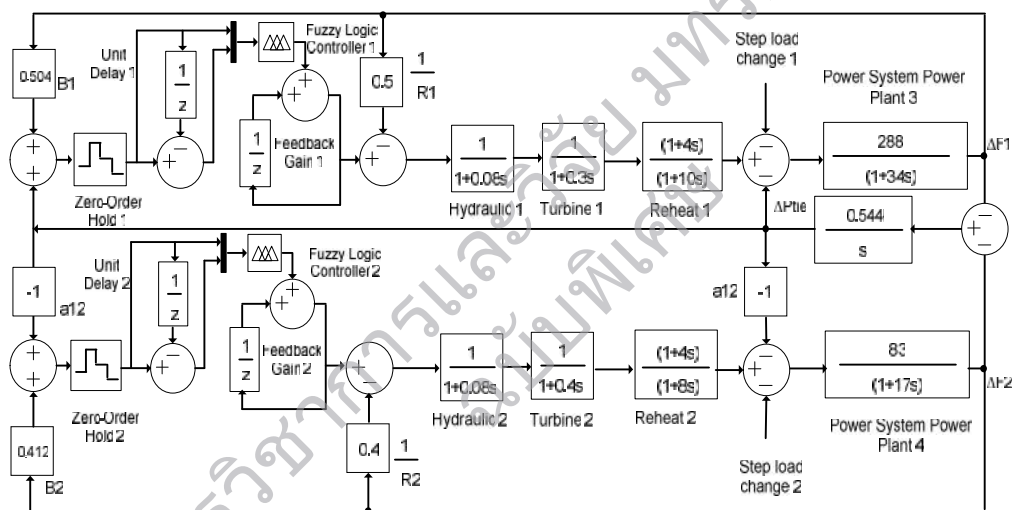
รูปที่ 5 รูปบล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมแบบ Fuzzy Logic Controller



รูปที่ 6 Membership Function ของการควบคุม

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าฟัซซีของการควบคุม

In put	e(k)							
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	NB	PB	PB	PB	PB	PM	PM	PS
	NM	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PS
	NS	PM	PM	PS	PS	PS	PS	ZE
	ZE	NS	NS	NS	ZE	PS	PS	PS
	PS	ZE	NS	NS	NS	NS	NM	NM
	PM	NS	NS	NM	NM	NM	NB	NB
	PB	NS	NM	NB	NB	NB	NB	NB



รูปที่ 7 รูปไดอะแกรมวงจรควบคุมแบบ Fuzzy Logic Controller

2.1.3 ระบบการควบคุมแบบสองพื้นที่ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวควบคุม

ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักแบบโดยจะทำการเรียนรู้ความสัมพันธ์อนุกรมอินพุตกับเอาต์พุตเพื่ออัปเดตค่าน้ำหนักถ่วง (Weight Update) จากค่าผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการเข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชันประเมิณผลและเมื่อตัวอย่างถูกป้อนเข้าสู่อินพุตอย่างต่อเนื่องจะหาค่าผิดพลาดของอนุกรมอินพุตและเอาต์พุตดังสมการที่ 8 ได้ค่าถ่วงน้ำหนักในรอบถัดไปดังสมการที่ 10 และหาค่าเอาต์พุตนิวรอนได้ดังสมการที่ 12 โดยมีวงจรควบคุมโครงสร้างข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 8

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^K (d_{kj} - o_{kj})^2 \quad (9)$$

$$w_{ji}(n+1) = w_{ji}(n) + \eta y_i(n) d_j(n) \quad (10)$$

$$S_j = \sum_{i=1}^j W_{ji} y_j \quad (11)$$

$$O_j = f(S_j + B_j) \quad (12)$$

จากสมการเมื่อ

E คือค่าผิดพลาดรวม

K คือจำนวนของเอาร์ทพุต

d_{kj} คือค่าที่ต้องการสำหรับตัวอย่างที่ k

$o_{kj}(=y_{kj})$ คือค่าเอาร์ทพุตที่ jk ของตัวอย่างที่ k

$w_{ji}(n+1)$ คือค่าถ่วงน้ำหนักในรอบถัดไป

$w_{ji}(n)$ คือค่าถ่วงน้ำหนักในรอบปัจจุบัน

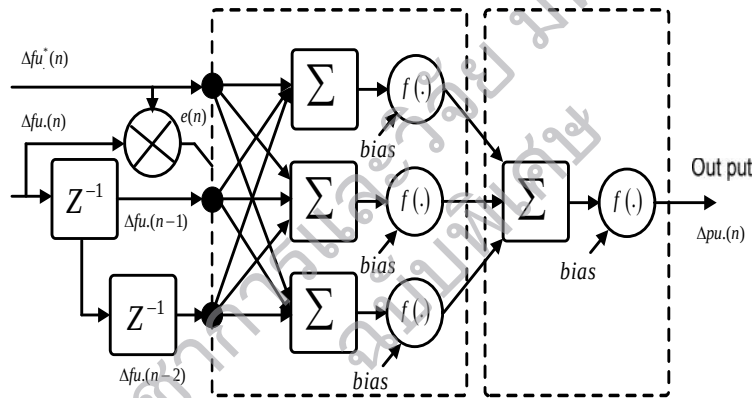
h คืออัตราการเรียนรู้มีค่า 0 ถึง 1

$d_j(n)$ คือความผิดพลาดของเอาร์ทพุตในรอบปัจจุบัน

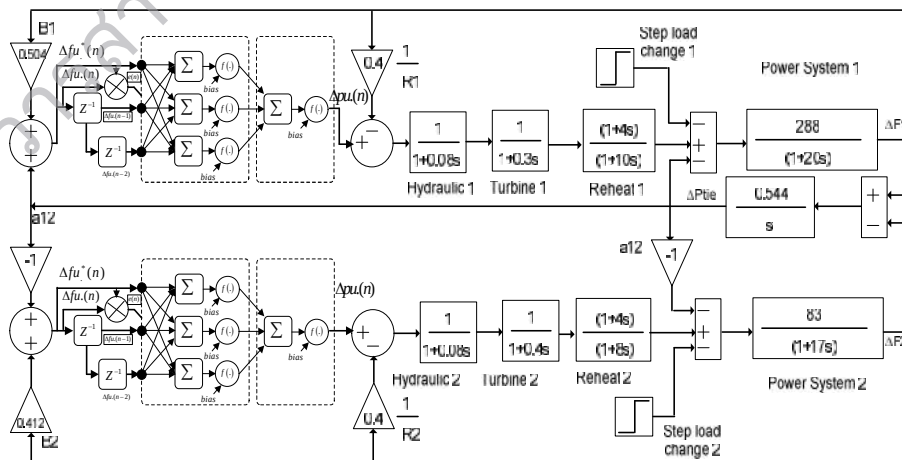
y_j คือสัญญาณอินพุต

S_j คือเอาร์ทพุตของผลรวมเชิงเส้น

B_j คือไบแอส



รูปที่ 8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 9 รูปโต้ะแกรมวงจรควบคุมแบบ Artificial Neural Network Controller

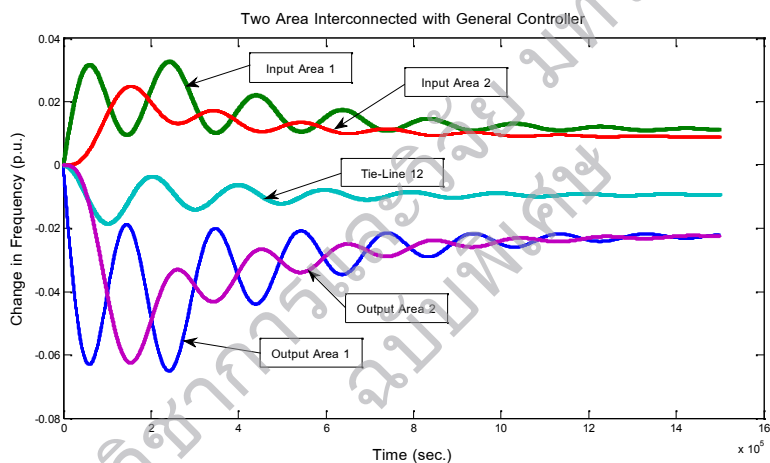
2.2 การออกแบบ Parameter

ในการจำลองการควบคุมความถี่-โวลต์ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Simulink ของ Matlab ซึ่งระบบที่จำลองขึ้นนี้ประกอบด้วยระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนเชื่อมโยงสองพื้นที่ โดยการจำลองระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน 3 เป็น AREA 1 และโรงไฟฟ้าที่ 4 เป็น AREA 2 โดยเลือกใช้การเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบขั้นที่ทันใด (Step Load)

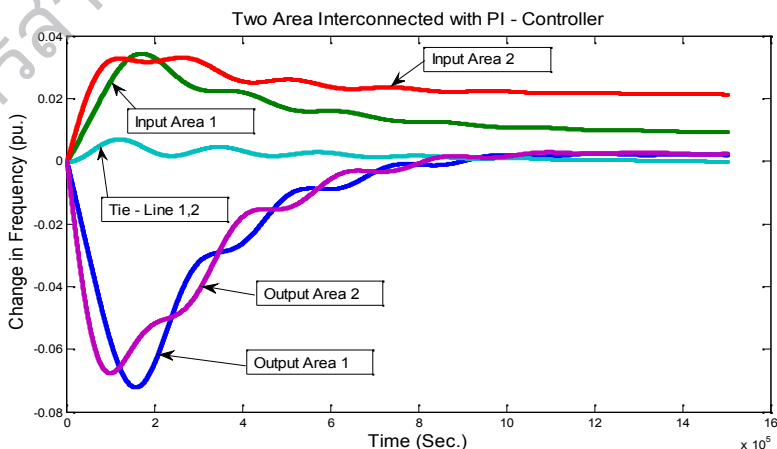
ค่าตัวแปร Parameters โดยที่ $Th_1=Th_2=0.08s$, $Tt_1=0.3s$, $Tt_2=0.4s$, $Tp_1=34s$, $Tp_2=17s$, $R_1=2.5pu$. MW/Hz., $R_2=2pu$. MW/Hz., $KP_1=288$ Hz./pu.MW., $KP_2=83$ Hz./pu.MW., $T_{12}=0.544s$, $B_1=0.412$ pu.MW/Hz., $B_2=0.504$ pu.MW/Hz., $a_{12}=-1$, $\Delta P_{d1}=0.02pu$, $Kr_1=0.4Hz$ /pu.MW., $Kr_2=0.5Hz$ /pu.MW., $Ki_1=Ki_2=0.2$ Hz./pu.MW., $Tr_1=10s$, $Tr_2=8s$.

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

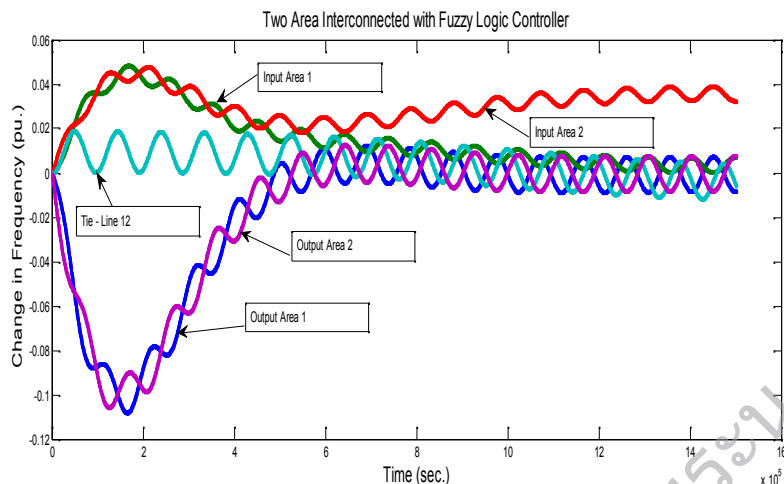
ผลการจำลองระบบกรณีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ Area 1 เป็น 0.02 ต่อหน่วย หรือ 1.75 เมกกะวัตต์และมีการเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นที่สองพื้นที่ที่จะแสดงผลได้ทั้งในพื้นที่ Area 1, Area 2, และ Tie - Line 1,2 ดังรูป



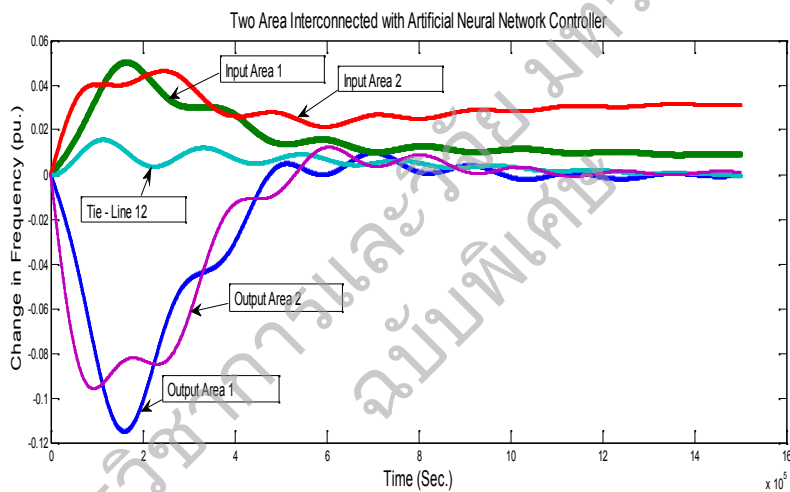
รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โวลต์กรณีไม่มีตัวควบคุม



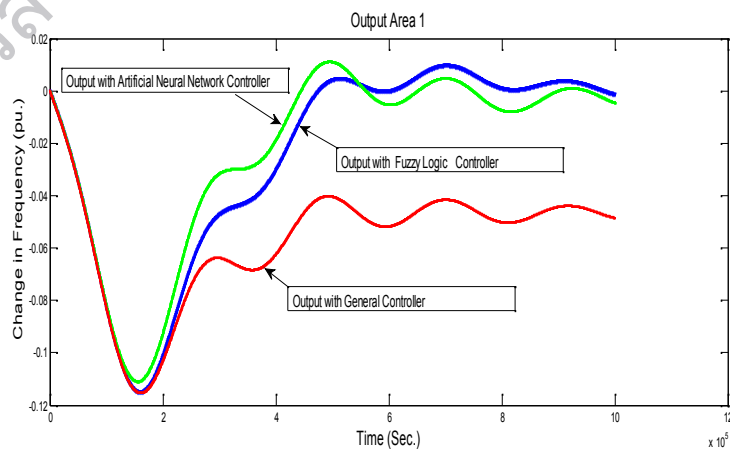
รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โวลต์กรณีใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ



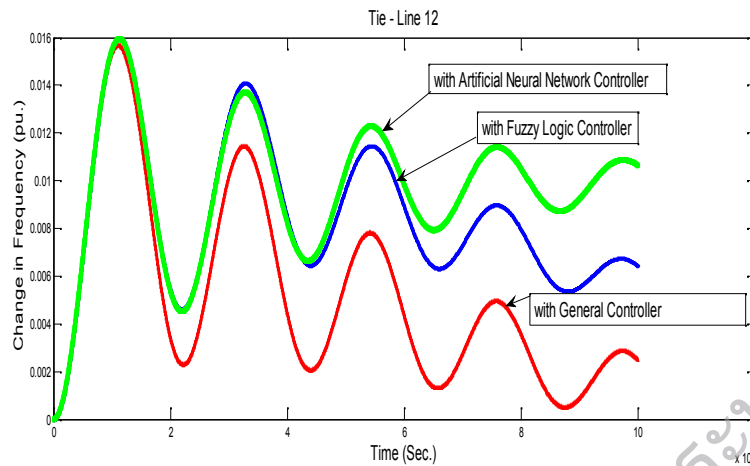
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดกรณีใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก



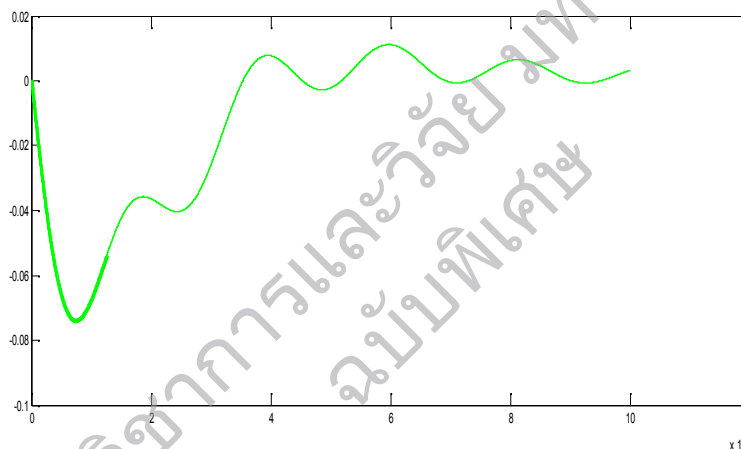
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดกรณีใช้ตัวควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดทางด้าน Out Put Area 1



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหนดทางด้าน Tie - Line 1,2



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหนดทางด้าน Out Put Area 2

4. สรุป

บทความนี้แนะนำการจำลองศึกษาการวิเคราะห์การควบคุมความถี่ของโหลดแบบสองพื้นที่โดยเปรียบเทียบการไม่ใช้ตัวควบคุมความถี่-โหนดกับการใช้ตัวควบคุมความถี่-โหนดแบบฟัซซี่ลอจิกและแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจำลองระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั้งสองที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้รวม 47.55 เมกกะวัตต์ โดยให้มีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่โรงไฟฟ้า No.3 เท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย หรือ 1.75 เมกกะวัตต์ ซึ่งจากผลการทดลองผลตอบสนองของระบบที่มีการใช้ตัวควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมความถี่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพของการควบคุมความถี่ของโหลดน้อยกว่าแบบไม่ใช้ตัวควบคุมและแบบฟัซซี่ลอจิก และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่น้อยกว่าทำให้ระบบดีขึ้น นำผลที่ได้จากการจำลองระบบมาวิเคราะห์ปรับปรุงเพื่อพัฒนาและแก้ปัญหาเสถียรภาพการควบคุมความถี่-โหนดของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบจริงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ไทยเพาเวอร์ซัพพลาย จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน 3 และ 4 เขตอุตสาหกรรมแหลมเขา จ.ฉะเชิงเทรา และ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลองวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- K.S.S.Ramakrishna,T.S. Bhatti **Load frequency control of interconnected hydro-thermal power system**. International Conference on Energy and Environment 2006 (ICEE 2006), Selangor,Malaysia,28-29 Aug.2006.
- A.Sreenath,Y.R.Atre,D.R.Patil, **Two Area Load Frequency Control with Fuzzy Gain Scheduling of PI-Controller**. IEEE 2008 DOI 10.1 109/ICETET.2008.255.
- Ilham Kocaarslan,Ertugrul Cam,Hasan Tiryaki,M.Cengiz Taplamacioglu, **A Fuzzy PI Controller Application in Boilers of Thermal Power Plants**. Department of Electrical Engineering,Faculty of Engineering,Kirikkale University,Yahsihan,Kirikkale 71450,Turkey. Energy Conversion and Management 2005.
- S.Yukhalang and K.Bhumkittipich, **Load Frequency Control of Interconnected Power System by Using Fuzzy Logic Controller**. The3rd International conference on Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA 03, RE-22).2012.
- Panna Ram, A.N.Jha. **Automatic Generation Control of Interconnected Hydro – Thermal System in Deregulated Environment Considering Generation rate Constraints**. IEEE 2010.International Conference on Industrial Electronics, Control and Robotics 2010.
- สวัสดี้ ยุคะลัง และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์. **การเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ – โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างตัวควบคุมพีไอและฟัซซีลอจิก**. The35th Electrical Engineering Conference (EECON-35,PW-19).
- สันติภาพ โคตทะเล และ อุทม เครือเทพ. **พีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ชนิดคู่ที่ควบคุมแรงดันด้วยโครงข่ายประสาทเทียม**. The32th Electrical Engineering Conference (EECON-32,PE-23).
- D.M.Vinod Kumar, **Intelligent Controllers for Automatic Generation Control**. IEEE Transaction on Power Systems, 0-7803-4886-9/98.1998.