

การควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง โดยใช้
ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

**LOAD - FREQUENCY CONTROL OF INTERCONNECTED POWER
SYSTEM BY USING FUZZY LOGIC CONTROLLER**



สวัสดิ์ ยุคะลัง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การควบคุมความถี่ – โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้
ตัวควบคุมพีชซีลอจิก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมความถี่- โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิก
ชื่อ – นามสกุล	นายสวัสดิ์ ยุคะลิ่ง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักติพิชญ์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบการควบคุมความถี่ – โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิก เพื่อรักษาความถี่ของระบบให้คงที่ไม่แปรผันตามโหลดที่เปลี่ยนแปลงของในแต่ละพื้นที่ที่เชื่อมโยงกัน การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าพิกัดเป็นตัวแปรบ่งชี้ถึงความสมดุลของกำลังไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมโยงกัน

การออกแบบตัวควบคุมเพื่อที่จะปรับปรุงระบบควบคุมความถี่ – โหลดของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าได้มีการจำลองตัวควบคุม 3 กรณี คือ การไม่ใช้ตัวควบคุม กับแบบใช้พีไอเป็นตัวควบคุม และแบบที่ใช้พีชชีลอจิกเป็นตัวควบคุม การจำลองระบบโดยใช้พารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโรงที่ 3 และโรงที่ 4 ของบริษัทไทยเพาเวอร์ ซับพลาย จำกัด เขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมเขา จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีกำลังการจ่ายทั้งสองแห่งรวมกัน 47.55 เมกกะวัตต์ จำหน่ายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยไป 40 เมกกะวัตต์ ส่วนที่เหลือได้จ่ายให้กับกลุ่มโรงงานในเขตนิคมอุตสาหกรรม โดยจำลองระบบเป็นแบบสองพื้นที่เปรียบเทียบกับทั้งที่ไม่มีการควบคุมกับที่มีการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมพีไอและการใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิก การจำลองระบบใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

ผลการจำลองการทำงานของระบบทั้ง 3 กรณี เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ 0.025 เฮิรตซ์ เมื่อโหลดมีเปลี่ยนแปลง 1.75 เมกกะวัตต์ จากการเชื่อมโยงทั้งสองพื้นที่ ผลตอบสนองที่สถานะคงที่ค่าเวลาแบบที่ยังไม่มีการควบคุมเป็น 5.8 วินาที กับแบบที่ใช้ PI เป็นตัวควบคุมที่ค่าเกนอินทิเกรตควบคุมของพื้นที่ 0.02 ต่อหน่วย เป็น 2.4 วินาที และแบบใช้พีชชีลอจิกที่ค่าฟังก์ชันการควบคุม -0.6 ถึง 0.6 เป็น 1.9 วินาที ซึ่งการใช้พีชชีลอจิกเป็นตัวควบคุมได้ค่าสมรรถนะที่ดีกว่าแบบที่ยังไม่มีการควบคุมร้อยละ 29 และดีกว่าแบบที่ใช้พีไอเป็นตัวควบคุมร้อยละ 5 สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบโรงไฟฟ้าชนิดอื่นหรือพัฒนาระบบการควบคุมและการใช้ตัวควบคุมชนิดอื่นของการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

คำสำคัญ: พีไอ-คอลโทรลเลอร์ พีชชี ลอจิก ตัวควบคุมความถี่ – โหลด ระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง

Thesis Title	Load – Frequency Control of Interconnected Power System by Using Fuzzy Logic Controller
Name - Surname	Mr. Sawat Yukhalang
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Dr. Krischonme Bhumkittipich
Academic Year	2011

ABSTRACT

This thesis presents the design of load-frequency control of interconnected power system using fuzzy logic controller. In order to stabilize the system frequency when load changed in the interconnected area, the frequency control of power system has to be closed to the rated of the interconnection system frequency.

The controller is designed into 3 types for the load frequency control in interconnected power system namely, non-controller, PI controller and fuzzy logic controller respectively. The simulation parameters are modeled by using thermal power plant No. 3 and No. 4 of Thai Power Supply Co., Ltd. at Lamkhaow Industrial in the Chachoengsao province. The total power is generated about 47.55 MW, which 40 MW supplies to Electricity Generating Authority of Thailand. The remaining is supplied to factory group in industrial zone. The system is simulated by using MATLAB with SIMULINK program.

Simulation results showed that 3 types of the controller have deviation frequency about 0.025 Hz when tie-line load changed 1.75 MW from interconnected power system. Steady state time respond is 5.8 seconds for non-controller system, 2.4 seconds for under controlled system at 0.2 p.u. with PI controller and -0.6 to 0.6 membership function at 1.9 seconds for the fuzzy logic controller. Therefore, the fuzzy logic control has the better efficiency and better result than non-controller about 29 % and PI controller about 5 %. It can be concluded that this study can use for applying to the distribution power system to increase efficiency and power system stability.

Keywords: PI-controller, fuzzy logic, load – frequency controller, interconnected power system

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนชี้แนะทางในการทำ วิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรรศย์สิงห์ ดร.พินิจ ศรีธรและดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล ที่สละเวลาอันมีค่าให้ความอนุเคราะห์ ประเมินและคำแนะนำต่างๆอันเป็นผลให้งานวิจัยมีความชัดเจน ครบถ้วน สามารถที่จะนำไป ประยุกต์ใช้งานได้จริง ขอขอบคุณห้องวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงพี่ๆน้องๆทีมงานวิจัย ณ ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงเงินทุนสำหรับสนับสนุนใน บางส่วนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อคุณสงกรานต์ ผ่อง แฝว เจ้าหน้าที่บริษัท ไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลของโรงไฟฟ้าทั้งสองแห่ง

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ที่ให้กำลังใจและร่วมแรงร่วมใจให้ความ ช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษาของผู้วิจัย และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบุชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สวัสดิ์ ยุคะลิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	3
1.6 ข้อยกเว้นของการวิจัย.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.8 ลักษณะรายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2 เสถียรภาพระบบไฟฟ้า (Power System Stability).....	15
2.3 พื้นฐานระบบการควบคุมเครื่องกำเนิด(Basic Generator Control Loop).....	16
2.4 การควบคุมความถี่ - โหลด (Load Frequency Control).....	17
2.5 การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติในการเชื่อมโยงระบบกำลัง(Automatic Generation Control in Interconnected Power System).....	30
2.6 การควบคุมการไบอัสของระบบเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ (Tie-Line bias Control).....	34
2.7 ระบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic).....	35
2.8 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	62
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK.....	62
3.2 ศึกษาเสถียรภาพการควบคุมความถี่ – โหลดของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	64
3.3 การการศึกษาการควบคุมความถี่ – โหลดแบบไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ.....	65
3.4 การศึกษาการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ.....	67
3.5 การศึกษาการใช้ตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก.....	68
3.6 สรุป.....	69
4 ผลการทดลอง.....	70
4.1 ผลการทดลองจากที่ยังไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ.....	70
4.2 ผลการทดลองจากที่ใช้มีตัวควบคุมแบบพีไอ.....	71
4.3 ผลการทดลองจากที่ใช้มีตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก.....	72
4.4 เปรียบเทียบและสรุปผล.....	73
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก ข้อมูลต่างๆ.....	84
ภาคผนวก ข โปรแกรมการคำนวณการเชื่อมโยงระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ ด้วย MATLAB/SIMULINK.....	90
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าที่ได้จากผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 1.....	74
4.2 ค่าที่ได้จากผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่.....	75
4.3 ค่าที่ได้จากผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 2.....	76



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงสองพื้นที่.....	2
2.1 การจำแนกเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า.....	15
2.2 ไดอะแกรมของ LFC และ AVR ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส.....	17
2.3 บล็อกไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	23
2.4 บล็อกไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของ โหลด.....	24
2.5 บล็อกรวมไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของ โหลด.....	24
2.6 บล็อกไดอะแกรมของส่วนกักเก็บไอน้ำทั่วไปแบบไม่นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่.....	25
2.7 ไดอะแกรมของระบบชุดตัวบังคับควบคุมความเร็ว.....	26
2.8 ไดอะแกรมคุณลักษณะสภาวะอยู่ตัวของชุดตัวบังคับความเร็ว.....	27
2.9 บล็อกไดอะแกรมผลตอบสนองของระบบตัวบังคับความเร็วสำหรับกักเก็บไอน้ำ.....	28
2.10 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมความถี่โหลดของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าทั่วไป.....	28
2.11 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่โหลดเมื่ออินพุทคือ $\Delta P_L(s)$ และเอาต์พุทคือ $\Delta \Omega(s)$	29
2.12 ระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่.....	30
2.13 สมการเทียบเท่าทางไฟฟ้าแบบสองพื้นที่.....	30
2.14 บล็อกไดอะแกรมสมการเทียบเท่าแบบสองพื้นที่.....	31
2.15 ภาพแสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ของโหลดแบบสองพื้นที่.....	33
2.16 ภาพบล็อกไดอะแกรมของระบบแบบสองพื้นที่ด้วยการเพิ่มการควบคุม.....	34
2.17 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันที่แท้จริงเทียบกับทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน.....	36
2.18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตแบบฉบับ.....	37
2.19 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี.....	37
2.20 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิยุต A	38
2.21 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง A	39
2.22 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B	40
2.23 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B	40
2.24 คอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต A	41
2.25 เซตย่อยของฟัซซีเซต A	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.26 ตัวอย่างตัวแปรภาษา.....	44
2.27 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่.....	45
2.28 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก.....	46
2.29 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก.....	46
2.30 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก.....	47
2.31 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก.....	47
2.32 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก.....	48
2.33 ฟังก์ชันกฎการแยกกลุ่ม (A) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (B) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ.....	49
2.34 ปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี่.....	50
2.35 กลุ่มของระบบกฎฟัซซี่.....	51
2.36 วิธีการอนุมานแบบ Mandani (Max – Min) โดย (A) เป็นกฎที่ 1 และ (B) เป็นกฎที่ 2 และ (C) เป็นผลรวมของทั้งสองกฎ.....	54
2.37 วิธีการอนุมานแบบ Mandani (Max – Product) โดย (A) เป็นกฎที่ 1 และ (B) เป็นกฎที่ 2 และ (C) เป็นผลรวมของทั้งสองกฎ.....	55
2.38 ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตแบบ TSK.....	57
2.39 วิธีการอนุมานแบบ TSK.....	58
2.40 วิธีการอนุมานแบบ Tsukamoto Fuzzy Model.....	59
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK.....	63
3.2 แผนภาพเส้นเดียวของแบบจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่.....	64
3.3 โรงไฟฟ้าที่ 3.....	65
3.4 เครื่องกำเนิดโรงไฟฟ้าที่ 3.....	65
3.5 โรงไฟฟ้าที่ 4.....	66
3.6 เครื่องกำเนิดโรงไฟฟ้าที่ 4.....	66
3.7 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่.....	67
3.8 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ.....	68
3.9 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก.....	69
4.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่ – โหลดแบบที่ยังไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ.....	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ผลจำลองการการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ.....	71
4.3 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่ – โหลดแบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ.....	71
4.4 ผลจำลองการการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยใช้พีไอเป็นตัวควบคุม.....	72
4.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่ – โหลดแบบที่ใช้ตัวควบคุมพีซีลอจิก.....	72
4.6 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยใช้พีซีลอจิกเป็นตัวควบคุม.....	73
4.7 เปรียบเทียบผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 1.....	73
4.8 เปรียบเทียบผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่.....	74
4.9 เปรียบเทียบผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 2.....	75



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	ความเร่งเชิงมุม
ω_s	Electrical Angular Velocity Frequency
ω_n	Under damped Natural
ω_m	ความเร็วเชิง โครน์สของเครื่องจักรกล
τ_T	Turbine Time Constant
τ_g	Governor Time Constant
ρ	จำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้า
θ_m	มุมการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ โดยเทียบกับแกนอ้างอิงของสเตเตอร์
δ_m	มุมการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ เทียบกับแกนอ้างอิง
$\Delta\delta$	การเปลี่ยนแปลงมุมโรเตอร์
δ	มุมโรเตอร์
ζ	อัตราการหน่วง
ΔP_L	การเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ความถี่
ΔP_{mi}	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพื้นที่ i ($i=1,2,\dots$)
ΔP_v	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวาล์วต้นกำลัง
ΔP_{12}	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2
B_i	ค่าแฟกเตอร์ไบอัสของความถี่พื้นที่ i ($i=1,2,\dots$)
D_i	ค่าคงที่ความถี่ของโหลดพื้นที่ i ($i= 1,2,\dots$)
$D\Delta\omega$	ค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่โหลด
E'	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
E_B	กำลังไฟฟ้าที่บัสบนันต์
E_t	แรงดันที่ด้านออกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
f	ความถี่ของระบบไฟฟ้า
f_0	ความถี่เริ่มต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
H	ค่าความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหน่วยเป็น MJ.s/MVA
J	โมเมนต์ของความเฉื่อยของ Prime Mover และ Generator
$J\omega_m$	ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant, M)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

K_s	ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งโครนัส
M	ค่าพลังงานจลน์สะสมของการหมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
P_e	กำลังทางไฟฟ้า
P_m	กำลังทางกล
P_s	กำลังไฟฟ้าซึ่งโครนัส
R	การปรับความเร็วของชุดควบคุม
t_s	ค่าคงที่ทางเวลา
T_a	กำลังทอร์กอัตราเร่ง
T_e	กำลังทางไฟฟ้า
T_m	กำลังทอร์กทางกล
X'_d	ความต้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
X_T	ค่าอิมพีแดนซ์รวมของระบบไฟฟ้า
X_{T_r}	ความต้านทานหม้อแปลงไฟฟ้า
X	รีแอกแตนซ์ของสาย
ACE	Area Control Error
AGC	Automatic Generator Control
AVR	Automatic Voltage Regulator
CADACS	Computer Aided Design and Control Software
CLF	Conventional Integral Load Frequency Controller
CLFGS	Conventional Integral Load Frequency with Fuzzy Gain Scheduling
COG	Central of Gravity
FGPI	Fuzzy Gain Scheduled Proportional and Integral
FACTS	Flexible AC Transmission line System
FLC	Fuzzy Logic Controller
GA	Genetic Algorithm
ISE	Integral Squared Error
ITAE	Integral Time Absolute Error

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

KCL	Kirchhoff Current Law
KVL	Kirchhoff Voltage Law
LFC	Load Frequency Control
OPT	Optimal PI Load Frequency Controller
OPTGS	Optimal PI Load Frequency Controller with Fuzzy Gain Scheduling
PI	Proportional-integral
PID	Proportional-Integral-Derivative
p.u.	Per Unit
PF	Power Factor
PQ	Power Quality
PR	Power Reliability
PSS	Power System Stability
SAM	Standard Additive Model
SACSC	Simulated Annealing-Based Controlled Series Capacitor
SAPSS	Simulated Annealing-Based Power System Stabilizer
SSSC	Static Synchronous Series Capacitor
TSK	Takagi-Sugeno-Kang
TCSC	Thyristor Controlled Series Capacitor
WA	Weighted Average

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

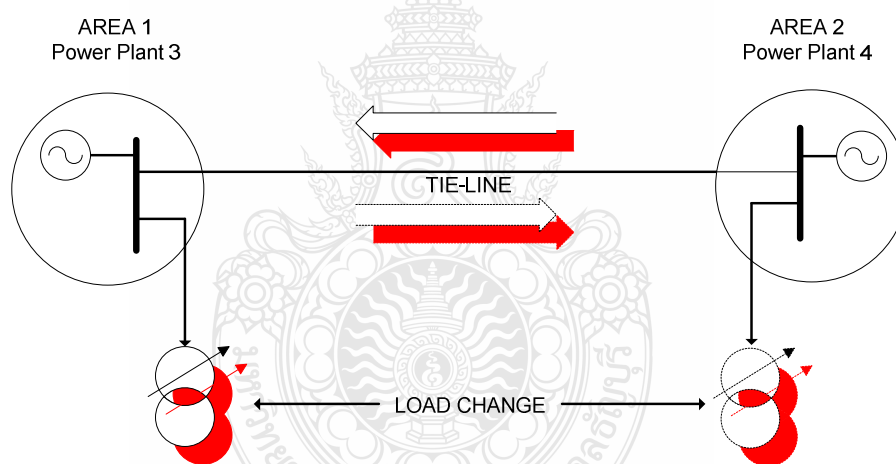
ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลัง ประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยทั่วไประบบการจ่ายไฟจะเริ่มจากระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกำลังไฟฟ้าที่มีระดับแรงดัน 13.8 เควี ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้มีระดับแรงดันสูง 69 - 500 เควี จ่ายผ่านระบบส่งจ่ายไฟฟ้า จากนั้นจะถูกแปลงให้มีระดับแรงดันลดลงเหลือ 11 - 33 เควี ที่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยโดยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่สถานีไฟฟ้าย่อยและจ่ายผ่านสายป้อนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จากนั้นจึงแปลงระดับแรงดันให้ต่ำลงเหลือ 380/220 โวลต์ โดยหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า และเดินสายไฟแรงต่ำไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป [1] ในส่วนของการส่งจ่ายและจำหน่ายระบบไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาจากเครื่องกำเนิดของแต่ละเขตแต่ละพื้นที่ที่มีการเชื่อมโยงกัน จึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของพื้นที่นั้นๆ และพื้นที่ที่เชื่อมโยงถึงกัน การใช้ตัวควบคุมระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดเสถียรภาพจากการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดแต่ละพื้นที่ จะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมีประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นการควบคุมความถี่ของโหลดช่วงการจ่ายพลังงานของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงจึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้า (Power System Stability: PSS) ซึ่งมีการพัฒนาและปรับปรุงระบบการควบคุมความถี่การจ่ายพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุมและการควบคุม ในการศึกษาที่ผ่านมาได้พิจารณาจากการจ่ายโหลดในช่วงที่ไม่มี การควบคุมหรือการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Automatic Generator Control: AGC) รวมถึงช่วงการควบคุมแบบใช้ Proportional - Integral (PI) Controller ซึ่งก็ได้ผลของความถี่ - โหลดในช่วงการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบเชื่อมโยงในช่วงเริ่มต้นที่ยังมีระยะเวลาและการแกว่งความถี่ของระบบ

จากปัญหาที่กล่าวมานั้นการเลือกวิธีการปรับปรุงการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบเชื่อมโยงของพื้นที่นั้น ขึ้นอยู่กับตัวควบคุมความถี่วงจรควบคุมความถี่ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเสถียรภาพแก่ระบบได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันวิธีการพัฒนาและปรับปรุงตัวควบคุมความถี่ของโหลดได้รับความนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหามากอีกวิธีการหนึ่งคือการออกแบบ

ตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเสถียรภาพและลดการแกว่งของระบบให้น้อยมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

การวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก เพื่อควบคุมความถี่ของโหลดในช่วงของการเริ่มการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงให้มีระยะเวลาและการแกว่งที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการจ่ายโหลดในช่วงที่ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติและช่วงที่มีการควบคุมแบบพีไอ โดยได้ทำการทดสอบด้วยแบบจำลองซึ่งกระทำด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โรงไฟฟ้าที่ 3 และ โรงไฟฟ้าที่ 4 ของบริษัท ไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด ที่เขตอุตสาหกรรมแหลมเขา จ.ฉะเชิงเทรา ในการจำลองระบบแบบสองพื้นที่ ที่จ่ายเข้ากับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ดังภาพที่ 1.1 ซึ่งจะเป็นประเด็นที่นำเสนอในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 1.1 โดอะแกรมของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงสองพื้นที่

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการควบคุมความถี่ - โหลด ในช่วงเริ่มต้นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบระบบการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก กับแบบไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ และแบบพีไอได้

1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกได้

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

การศึกษาการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิก เพื่อศึกษาถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมและวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ การควบคุมแบบฟuzzy และการไม่ใช้การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ เพื่อหาความเหมาะสมของการหาเสถียรภาพของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง ซึ่งจะทำให้มีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นการจ่ายโหลดดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้า เมื่อมีการเชื่อมต่อกัน

1.4.2 ออกแบบระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

1.4.3 เปรียบเทียบระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกกับตัวควบคุมชนิดอื่น

1.5 ขั้นตอนการทำวิจัย

การวิจัยจะเน้นการออกแบบระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกเปรียบเทียบกับ การใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzy และแบบไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ การทำวิจัยจะแยกได้ดังนี้

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงเบื้องต้น

- ก. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzy และแบบไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ
- ข. เป็นการรวบรวมศึกษาข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมแบบฟuzzy และแบบไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.5.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการผลของการจำลองระบบ

- ก. เป็นการศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ของวงจรในการจำลองของระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ
- ข. เป็นการรวบรวมศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ผลของการจำลองของระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.5.3 ออกแบบระบบควบคุมของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง

- ก. ออกแบบระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีซีลอจิก
- ข. เป็นขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง

1.5.4 เปรียบเทียบระบบควบคุมของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้า

- ก. เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีซีลอจิกกับระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ
- ข. เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงกับระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.5.5 วิเคราะห์ผลและสมรรถนะของระบบควบคุมความถี่ - โหลด

- ก. วิเคราะห์ผลและสมรรถนะของระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีซีลอจิกกับระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ
- ข. เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์ผลและสมรรถนะระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงกับระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติที่ได้จากการจำลองระบบ

1.5.6 จัดทำรายงานการวิจัยและสรุปผล

เป็นขั้นตอนของการจัดทำรายงานผลการวิจัยและสรุปผลระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงกับระบบควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มี การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติที่ได้จากการจำลองระบบ

1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะการออกแบบและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ ที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์และ เปรียบเทียบเสถียรภาพของการควบคุมความถี่ - โหลด โดยใช้แบบจำลองการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลดแบบพีชชีลอจิกกับตัวควบคุมแบบพีไอและ ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ การวิจัยนี้ไม่ เน้นถึงการพิจารณาเสถียรภาพและประสิทธิภาพรวมถึงสมรรถนะของระบบการควบคุมความถี่ - โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงทางด้านอื่นๆ โดยกำหนดกรอบในการวิเคราะห์ดังนี้

1.6.1 ระบบที่นำมาจำลองและทดสอบเป็นระบบการควบคุมความถี่ - โหลด แบบสองพื้นที่

1.6.2 พิจารณาและเปรียบเทียบผลเฉพาะการทำงานในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง โหลดของตัว ควบคุม แบบพีชชีลอจิกกับแบบพีไอและแบบ ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.6.3 แบบจำลอง โหลด จะใช้การจำลองระบบที่กำหนดขึ้นเองโดยอัตราการเปลี่ยนแปลง โหลด จะ เป็นค่าต่อหน่วย (Per Unit) และใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดจากโรงไฟฟ้าที่ 3, 4 ของบริษัท ไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด ที่จ่ายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจริง ณ ปัจจุบัน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิก

1.7.2 ได้ผลวิเคราะห์และสมรรถนะของระบบการควบคุมความถี่ - โหลดของระบบไฟฟ้า เชื่อมโยงโดยใช้การเปรียบเทียบกับผลการจำลองของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิกกับแบบ พีไอและแบบ ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.7.3 ได้ระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิก สามารถทำให้มีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นการจ่าย โหลดดีขึ้นกว่าระบบพีไอ และแบบ ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.7.4 ได้ใช้ระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีชชี ลอจิกสามารถทำให้มีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นการจ่าย โหลดดีขึ้นกว่าระบบพีไอและ แบบ ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ

1.7.5 สามารถนำผลวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้า เชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิกกับแบบพีไอและแบบ ไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิด อัตโนมัติไปใช้ในการศึกษาหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ของระบบที่จะทำให้เสถียรภาพเปลี่ยนแปลงได้

1.7.6 เข้าใจการทำงานของระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมฟิซซีลอจิก

1.7.7 เป็นแนวทางในการออกแบบระบบควบคุมของการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงในอนาคต

1.7.8 ส่งเสริมให้มีการพัฒนาการออกแบบระบบควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงและการออกแบบระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นๆ ในอนาคต

1.8 ลักษณะรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

การนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีอยู่ด้วยกัน 5 บทคือ บทที่ 1 จะกล่าวถึงปัญหาความเป็นมา และความสำคัญในการแก้ปัญหา โดยมุ่งเน้นไปที่ระบบการควบคุมความถี่ - โหลด และการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลด เชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ ต่อมาจะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ สมมุติฐาน ขอบเขต ขั้นตอนในการดำเนินงาน ข้อจำกัด และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ตามลำดับ บทที่ 2 ศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมและตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ ทฤษฎีและสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมและตัวควบคุมความถี่ - โหลด เชื่อมโยง ปัญหาและผลกระทบของระบบและตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ โดยใช้ตัวควบคุมแบบ ฟิซซีลอจิกและแบบพีไอกับแบบไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ เพื่อเป็นแนวทางนำมาใช้ในการวิจัย บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย บทที่ 4 จำลองระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ โดยแยกเป็นการใช้ตัวควบคุมแบบฟิซซีลอจิกตัวควบคุมแบบพีไอและแบบไม่มีการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติและ บทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลเปรียบเทียบเชิงอภิปรายรวมถึงข้อเสนอแนะ และแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์ของระบบไฟฟ้ากำลังคือการส่งจ่ายพลังงานทั้งกำลังจริง(Real Power: P)และกำลังไฟฟ้าเสมือน(Reactive Power: Q) จากเครื่องกำเนิดส่งจ่ายผ่านสายส่งถึงผู้บริโภค ในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเกิดการหมุนตัวด้วยความเร็วและเกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าเกินในสายส่ง ซึ่งในทางปฏิบัติควรจะต้องรับได้ปกติ [1] การควบคุมความถี่โหลด (Load Frequency Control: LFC) จึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการสนับสนุนการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอและเชื่อถือได้มีคุณภาพที่ดี โดยเฉพาะการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าของการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติหรือการควบคุมความถี่โหลดคือกลไกที่จะทำให้เกิดความสมดุลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ยั่งยืนต่อไป จุดประสงค์พื้นฐานของการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังคือ การควบคุมข้อผิดพลาดความถี่ของระบบให้เป็นศูนย์และรักษาค่าความถี่ของระบบให้คงที่ไว้ รักษาความถูกต้องแม่นยำของค่าคงที่ รวมถึงรักษาค่าคงที่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในเครือข่ายให้เท่ากันและพื้นที่ใดมีเหตุฉุกเฉินต้องการพลังงานไฟฟ้าก็สามารถจะเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้าจากพื้นที่อื่นมาใช้โดยใช้วัสดุอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ให้น้อยที่สุด ซึ่งในสองพื้นที่ที่เชื่อมโยงถึงกันเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเครื่องกำเนิดกระแสโหลดของกำลังไฟฟ้าในสายส่งจะเพิ่มขึ้นในพื้นที่หนึ่งและโหลดจะลดลงในอีกพื้นที่หนึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของการไหล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดเกิดขึ้นในพื้นที่ใดๆ จะก่อให้เกิดสภาวะคงที่ใหม่อยู่ตลอดเวลาหลังจากกำลังไฟฟ้าด้านออกของทุกๆ ค่าคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมโยงระบบนั้นๆ อยู่ และในการเชื่อมโยงของระบบไฟฟ้ากำลังแต่ละพื้นที่จะมีแผนตกลงการรับหรือการส่งจ่ายรวมของการเชื่อมโยงกำลังไฟฟ้าในสายส่งในพื้นที่ใกล้เคียง ปัญหาของการควบคุมความถี่โหลด โดยรากฐานมาจากการรบกวน ความไม่ราบรื่นและการเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ ด้านอินพุท การไม่รู้จักรพารามิเตอร์ รวมถึงการไม่เป็นเชิงเส้นและฟังก์ชันการส่งผ่านมีการเปลี่ยนแปลง ในการแก้ไขปัญหาการควบคุมความถี่โหลดของระบบมีเทคนิคการควบคุมที่ก้าวหน้ามากขึ้น เช่น การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการควบคุมให้เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการควบคุม การใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ ในการควบคุม รวมถึงการควบคุมแบบป้อนกลับที่เหมาะสม [2]

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Muthana T. Alrifai and Mohamed Zribi [3] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการแบ่งหรือการแยกตัวควบคุมของการควบคุมความถี่โพลระบบไฟฟ้ากำลังโดยแบ่งเป็นแต่ละพื้นที่ของการควบคุมที่ได้เชื่อมโยงกันแล้วอันดับแรกใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้นและอันดับที่สองใช้ตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นทั้งสองแบบการควบคุมออกแบบโดยใช้ทฤษฎี Lyapunov (Lyapunov Theory) สำหรับระบบที่ง่ายและไม่มีค่าสูญเสียทางด้านเครื่องกำเนิด เสนอการจำลองศึกษาและวิเคราะห์ระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองที่นำเสนอระบบควบคุมในข้อจำกัดของด้านเครื่องกำเนิดทั้งสองแบบนี้ จะได้ผลลัพธ์จากการจำลองตัวควบคุมที่คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นการตรวจสอบหาความจริงของปัญหาการควบคุมความถี่-โพลแบบหลายพื้นที่ที่ทำให้ส่งผลต่อการพิจารณาและความไม่มั่นใจในพารามิเตอร์ ของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการเชื่อมโยง ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองถึงปัญหาการควบคุมความถี่ในการเชื่อมโยงระบบนี้ ทั้งแบบใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นแสดงให้เห็นค่าความคงทนของพารามิเตอร์ต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ

Dipesh M Patel, et. al. [4] ได้นำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคการใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ในบทบาทของการควบคุมความถี่ - โพล ของแต่ละพื้นที่ทั้งการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ และการควบคุมการปรับแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator: AVR) สำหรับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนและขนาดของแรงดันที่เกิดขึ้นที่มีผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของการควบคุมความเร็วและการกระตุ้น เพื่อให้ได้สัญญาณป้อนกลับที่เหมาะสมสำหรับการควบคุม ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบนั้น ถ้าการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติเป็นการใช้การควบคุมความถี่ - โพล จะส่งผลให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นทั้งแบบหนึ่งพื้นที่และแบบสองพื้นที่ ในระบบที่ใช้การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดลดลง แต่ถ้าใช้พีไอเพิ่มเข้าไปในระบบควบคุมอัตโนมัติข้อจำกัดความผิดพลาดจะน้อยมาก ในทำนองเดียวกันกับระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ก็จะมีค่าความผิดพลาดที่ต่ำลดความแตกต่างของกำลังทางกลลง

K.S.S. Ramakrishna and T.S. Bhatti. [5] ได้นำเสนอการควบคุมความถี่โพลโดยการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ระดับความสูง-กลาง-ต่ำ กับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโดยใช้ตัวควบคุมอัตโนมัติแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID) ของ Genetic Algorithm (GA) ด้วยวิธี Integral Squared Error (ISE) และวิธี Integral Time Absolute Error (ITAE) ด้วยดัชนีสมรรถนะฟังก์ชันที่เหมาะสมจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของเวลา และ อัตราการหน่วง โดยในที่นี้ให้โพลมีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันไดของแต่ละพื้นที่ที่จะรักษาค่าคงที่ไว้ที่

ระบบความสูงระดับต่ำและจะตอบสนองความเร็วที่ความสูงระดับสูงๆ แล้วเปรียบเทียบดัชนีสมรรถนะระหว่าง ISE กับ ITAE จะสังเกตได้ว่าที่อัตราการขยายเดียวกันแบบ ITAE จะให้ผลตอบสนองต่อเวลาลดลงเล็กน้อย

Ghazanfar Shahgholian, et. al. [6] ได้นำเสนอการวิเคราะห์พลวัตและเสถียรภาพของการควบคุมความถี่โพลในระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่ของเครื่องกังหันไอน้ำและผลกระทบต่อพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงโดยจำลองระบบใช้สมการเสถียร (State Equations) ของการควบคุมความถี่โพลในระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ใช้โปรแกรม Matlab จำนวนและเปรียบเทียบผลตอบสนองจากการเปลี่ยนแปลงโพลของแต่ละพื้นที่ในเทอมของค่าคงที่ของความเฉื่อย (Inertia Constant: H), ค่าคงที่ของตัวอินทิเกรตและค่าคงที่ของชุดขับเคลื่อนกังหัน (Turbine Time Constant: τT) ซึ่งได้พล็อตเปรียบเทียบในรูปแบบจำลองในเทอมของเวลาและโพลพล็อต

Ismail H. Altas and Jelle Neyens. [7] นำเสนอการใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุมความถี่โพลในระบบไฟฟ้ากำลังโดยได้จำลองระบบแล้วใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกเปรียบเทียบกับแบบเดิมโดยใช้วงจรควบคุมความถี่โพลแบบหนึ่งพื้นที่ดูความแตกต่างระหว่างใช้ Integral (I) เป็นตัวควบคุมกับใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุม เน้นไปที่การออกแบบและการใช้งานระบบฟuzzyแสดงให้เห็นเป็นขั้นต่อขั้นในการใช้งานตั้งแต่ข้อมูลด้านเข้า ตัวแปรฟuzzy การประมวลผลใช้การหาเหตุผลแบบ สูง-ต่ำ (Max-Min) และใช้กฎแบบ ถ้า-แล้ว (If-Then) ซึ่งเป็นที่เรียกกันว่าการหาจุดกึ่งกลางศูนย์ถ่วง (The Center of Area) เป็นที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการประยุกต์การใช้ฟuzzyลอจิกในวงจรควบคุม แล้วแสดงผลที่ได้ในการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โพล ซึ่งแบบฟuzzyลอจิกจะให้ผลตอบสนองทางด้านเวลาที่รวดเร็วขึ้นและสมรรถนะต่อการหน่วงที่ต่ำกว่า

Angelina Borges de Rezende Costa, et. al. [8] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในการใช้ระบบควบคุมแบบฟuzzyลอจิกในวงจรการกระตุ้นแบบอัตโนมัติ โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาตัวควบคุมบนพื้นฐานของฟuzzyลอจิกจำลองระบบของการปรับแรงดันอัตโนมัติในระบบไฟฟ้ากำลังแล้ววิเคราะห์เสถียรภาพและทรานเซียนต์ ซึ่งในรูปแบบระบบของการปรับแรงดันอัตโนมัติเป็นตัวควบคุมนั้นมีผลต่อแรงดันทางด้านกำลังออกของเครื่องกำเนิด ดังนั้นการปรับระบบโดยการเปลี่ยนตัวควบคุมการกระตุ้นการควบคุมความเร็วของการปรับแรงดันอัตโนมัติ ด้วยตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกโดยใช้ โปรแกรม Matlab/Simulink เปรียบเทียบผลสมรรถนะแบบที่ใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกมีผลตอบสนองการแกว่งได้ดีกว่าแบบการปรับแรงดันอัตโนมัติเดิม

Ilham Kocaarslan, et. al. [9] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงโดยการควบคุมฟuzzyพีไอ ในการควบคุมระบบหม้อต้มน้ำของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อน โดยได้นำเสนอรูป

แบบจำลองวงจรควบคุมของโรงไฟฟ้าแล้วเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ฟิวส์เป็นตัวควบคุม ใช้ฟิวส์ลอคจิกเป็นตัวควบคุม และฟิวส์ลอคจิก-ฟิวส์เป็นตัวควบคุมทั้งค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ทางด้านกำลังออกและค่าพลังงานกลจากการวัดจากพลังงานความร้อนที่ได้ทางด้านกำลังออกทั้งค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (Setting Time: T_s) และ ลูกคลื่นสูงสุด (Overshoot) ผลที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิก-ฟิวส์ จะให้สมรรถนะที่ดีที่ค่าลูกคลื่นสูงสุดโดยที่ค่า กำลังไฟฟ้าทางด้านกำลังด้านออกและค่าพลังงานกลจากการวัดจากพลังงานความร้อนทางด้านกำลังออกอยู่ที่ประมาณร้อยละ 2 ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าแบบฟิวส์ที่อยู่ที่ย้อยละ 30 และร้อยละ 23 ส่วนการใช้ตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิกจะให้สมรรถนะที่ดีที่ค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว โดยที่ค่า กำลังไฟฟ้าทางด้านกำลังออกอยู่ที่ประมาณ 8 วินาที และค่าพลังงานกลจากการวัดจากพลังงานความร้อนทางด้านกำลังออกอยู่ที่ประมาณ 11 วินาที ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าแบบฟิวส์ที่อยู่ที่ย้อยละ 190 วินาที และ 124 วินาที

Lokman H.Hassan, et. al. [10] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงการใช้ตัวควบคุมแบบฟิวส์กับฟิวส์ลอคจิกในการประมาณค่าฟังก์ชันแบบ Takagi - Sugeno (TSK) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งนี้เนื่องจากการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังมีผลต่อเสถียรภาพและอีกมากมายที่ไม่สามารถกำหนดได้ถ้าหากการควบคุมไม่ดีพอ การจำลองระบบโดยใช้ โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมฟิวส์ลอคจิกและฟิวส์เป็นตัวควบคุมแทนแบบเดิมที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) ในระบบเครื่องกำเนิดหนึ่งเครื่องส่งผ่านกับสายส่งที่บัสอนันต์เปรียบเทียบกับระบบตัวควบคุมแบบ Simulated Annealing-Based Power System Stabilizer (SAPSS) และแบบ Simulated Annealing-Based Controlled Series Capacitor (SACSC) ในกรณีที่เมื่อเกิดฟอลท์ที่สายส่งแบบสามเฟสที่ตรงกลางระหว่างสายแล้วเปรียบผลตอบสนองของแรงบิดและผลตอบสนองทางด้านความถี่ ผลที่ได้การใช้ตัวควบคุมแบบฟิวส์สามารถให้ผลตอบสนองที่ดีกว่ามีลูกคลื่นสูงสุด น้อยลงและค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เร็วขึ้น

A.Sreenath, Y.R.Atre and D.R.Patil [11] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการควบคุมความถี่โหลดโดยใช้การออกแบบฟิวส์และตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิกและแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนฟิวส์ (FGPI) ในการควบคุมของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนแบบสองพื้นที่ เสนอการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่พื้นที่หนึ่งแล้วเปรียบเทียบผลสมรรถนะของระบบ ผลจากการจำลองระบบโดยให้พื้นที่หนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงโหลด 0.01 ต่อหน่วย จะได้ว่าผลตอบสนองทางด้านเวลาผลตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุดค่าความผิดพลาดผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ตัวควบคุมแบบฟิวส์กับตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิกและตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนฟิวส์ในพื้นที่หนึ่งระบบตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนฟิวส์จะให้ผลตอบสนอง

ที่ดีกว่าแบบพีซีและพีไอตามลำดับ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกันแล้วการใช้ตัวควบคุมแบบพีซีลจิกเกรนพีไอจะส่งผลดีต่อคุณภาพของการจ่ายและความน่าเชื่อถือของระบบมากกว่า

Jawad Talaq and Fedel Al-Basri [12] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงแบบแผนอัตราการขยายพีซีที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความถี่โหลด เนื่องจากการใช้พีซีลจิกเป็นตัวควบคุมความถี่โหลดได้มีการนำมาใช้และเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ Conventional Integral Load Frequency Controller (CLF) และแบบ Conventional Integral Load Frequency with Fuzzy Gain Scheduling (CLFGS) เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอแบบดั้งเดิมและตัวควบคุมแบบการปรับปรุงตัวควบคุมแบบ Optimal PI Load Frequency Controller (OPT) แล้วผลที่ได้จากการใช้ตัวควบคุมแบบ Optimal PI Load Frequency Controller with Fuzzy Gain Scheduling (OPTGS) เปรียบเทียบสมรรถนะแล้วให้ค่าสมรรถนะที่ดีกว่าในสถานะการทำงานการใช้ตัวควบคุมแบบอัตราการขยายแบบคงที่

B.Anand, Member, IEEE, and A.Ebenezer Jeyakumar [13] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการควบคุมความถี่โหลดโดยใช้การออกแบบพีไอและตัวควบคุมแบบพีซีลจิกในการควบคุมของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนและพลังงานน้ำแบบสองพื้นที่มุ่งเน้นพิจารณาไปที่พลวัตของหม้อต้มไอน้ำ เนื่องจากจุดมุ่งหมายของการควบคุมความถี่โหลดคือทำให้ความถี่และกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมโยงมีความราบเรียบกลับคืนสู่ภาวะปกติในเวลาอันสั้น ในการพิจารณาสมรรถนะของระบบนี้ การเปลี่ยนแปลงของโหลดของอีกพื้นที่หนึ่งแม้เพียงเล็กน้อยก็ส่งผลต่ออีกพื้นที่หนึ่งเช่นเดียวกัน การควบคุมความถี่โหลดจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปแล้วการดำเนินการและควบคุมสำหรับกำลังการจ่ายที่พอเพียงและน่าเชื่อถือมีคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ดี แต่ด้วยความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นกลายเป็นว่าการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและควบคุมจึงมีความยุ่งยากและซับซ้อนขึ้นอีกมากมาย สำหรับการดำเนินการให้ได้ผลของระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้สภาพที่เปลี่ยนแปลงไม่ปกตินำไปใช้ในการควบคุมที่ไม่เหมาะสมจึงควรมีการตรวจสอบและแก้ไขผ่านชุดตัวควบคุมเพิ่มเติม ในการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอแบบดั้งเดิมไม่ได้เตรียมการควบคุมที่มีสมรรถนะที่เพียงพอและด้วยการพิจารณาพลวัตของหม้อต้มไอน้ำและความไม่เชิงเส้นอย่างเช่นช่วงความกว้างของชุดบังคับและอัตราค่าคงที่ของการกำเนิด จึงได้พิจารณาจำลองระบบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink ของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนและพลังงานน้ำโดยพิจารณาการใช้พีซีลจิกเข้าไปเพิ่มเติมในระบบควบคุมหม้อต้มไอน้ำแล้วเปรียบเทียบผลระหว่างที่ใช้ระบบตัวควบคุมพีไอแบบดั้งเดิมกับที่ได้เพิ่มเติมระบบพีซีลจิกเข้าไปที่ระบบควบคุมหม้อต้มไอน้ำ

น้ำจะได้ว่าถ้าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 ทั้งค่าลูกคลื่นสูงสุด และค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว ที่การเชื่อมโยงระบบที่นำระบบฟิวส์ลอคจิกเข้าไปควบคุมหม้อต้มไอน้ำจะให้สมรรถนะที่ดีกว่า

Lokman H.Hassan, et. al., [14] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการควบคุมความถี่โหลดโดยใช้การออกแบบพีไอดี และฟิวส์ลอคจิกในการควบคุมแบบสองพื้นที่ในการประมาณค่าฟังก์ชันแบบ TSK เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งนี้เนื่องจากการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังมีผลต่อเสถียรภาพเกิดปัญหาในระบบเชื่อมโยงแต่ละพื้นที่ การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏ การรักษากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไปให้คงที่จึงมีความสำคัญ การจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายฟิวส์ลอคจิกทั้งแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอ แบบ ฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอดี และแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอดีเป็นการควบคุมแบบสองพื้นที่เชื่อมโยงของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้การใช้ตัวควบคุมแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอดีสามารถให้ผลตอบสนองที่ดีกว่ามีลูกคลื่นสูงสุด น้อยลงและค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้น และในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงความถี่แล้วให้ค่าลูกคลื่นต่ำสุด และ ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าอ้างอิงและด้านออกของสัญญาณความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า

Ilham Kocaarslan, Ertugrul Cam [15] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบระบบตัวควบคุมฟิวส์ลอคจิกในการควบคุมแบบเชื่อมโยงของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานน้ำด้วยการปรับปรุงแบบอัตราขยายตัวควบคุมพีไอ โดยการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายฟิวส์ลอคจิกทั้งแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอ และแบบอัตราขยายฟิวส์ลอคจิกแบบฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอดั้งเดิมแล้วเปรียบเทียบผลจะได้ว่าแบบที่ใช้ฟิวส์ลอคจิกเกรนพีไอ มีค่าสมรรถนะลู่เข้าค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าลูกคลื่นสูงสุดผลตอบสนองที่ดีกว่ารวมถึงค่าความผิดพลาดรวมสมบูรณ์ก็น้อยกว่าด้วยทำให้ระบบมีคุณภาพการจ่ายที่ดีและความน่าเชื่อถือมากขึ้น

Ilham Kocaarslan และ Ertugrul Cam, Hasan Tiryaki [16] ได้นำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคการใช้ระบบตัวควบคุมฟิวส์ลอคจิกในการควบคุมแบบเชื่อมโยงของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนแบบสองพื้นที่ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของหม้อต้มไอน้ำด้วยการปรับปรุงแบบอัตราขยายตัวควบคุมพีไอ โดยการจำลองระบบการคำนวณด้วยโปรแกรม Computer Aided Design and Control (CADACS) แบบข้อมูลที่แท้จริงแล้วใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายฟิวส์ลอคจิกทั้งแบบอัตราขยายตัวควบคุมพีไอแบบใช้ฟิวส์ลอคจิกควบคุมและแบบใช้พีไอดี แล้วเปรียบเทียบผลทดลองจะได้ว่าแบบที่ใช้อัตราขยายตัวควบคุมพีไอมีค่าสมรรถนะลู่เข้า และค่า ผลตอบสนองที่ดีกว่ามีเปอร์เซ็นต์ของค่าลูกคลื่นสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายและพลังงานความร้อนร้อยละ 3 และร้อยละ 4 แบบการควบคุมความถี่ร้อยละ 9 และร้อยละ 24 แบบ พีไอดีร้อยละ

29 และร้อยละ 30 มีค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายและพลังงานความร้อน 19 วินาที และ 15 วินาที แบบการควบคุมความถี่โหลด 41 วินาที และ 17 วินาที แบบพีไอดี 100 วินาที และ 120 วินาที ทำให้ระบบมีคุณภาพการจ่ายที่ดีและความน่าเชื่อถือมากขึ้น

Ertugrul Cam [17] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการประยุกต์ออกแบบระบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก ในการควบคุมแบบเชื่อมโยงของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสองพื้นที่ด้วยการปรับปรุงแบบอัตราขยาย ตัวควบคุมพีไอโดยการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายพีชชีลอจิกทั้งแบบอัตราขยายพีชชีลอจิกพีไอและแบบใช้พีไอดีดั้งเดิมแล้วเปรียบเทียบผลจะได้ว่าแบบที่ใช้ อัตราขยายพีชชีลอจิกพีไอมีก่าสมรรถนะลู่เข้าผลตอบสนองที่ดีกว่าทำให้ระบบมีคุณภาพการจ่ายที่ดีและความน่าเชื่อถือมากขึ้น

ธีรวุฒิ ไชยธรรม, อิศระชัย งามหรุ, สุราวุธ โภธิยา [18] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบระบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก-พีไอดีที่เหมาะสม (Optimal FPID) ด้วยวิธีฝูงผึ้งเพื่อควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดเป็นแบบอิสระประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมและดีเซลทำงานร่วมกันแบบไฮบริดจัดการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมพีชชีลอจิก-พีไอดีที่ออกแบบมีสมรรถนะในการควบคุมความถี่และมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบได้ดีกว่าตัวควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบทั้งแบบพีไอดีและตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่ยังไม่ได้ทำให้เหมาะสมโดยการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก-พีไอดีที่เหมาะสม กับแบบพีชชีลอจิก-พีไอดีที่ไม่เหมาะสม (Non - Optimal FPID) แล้วเปรียบเทียบผลจะได้ว่าแบบที่ใช้พีชชีลอจิก - พีไอดีที่เหมาะสม มีค่าสมรรถนะลู่เข้าผลตอบสนองที่ดีกว่ารวมถึงค่าความผิดพลาดรวมสมบูรณ์ก็น้อยกว่าด้วยแสดงให้เห็นว่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบได้สูงทำให้ลดการแกว่งของระบบลงได้

Surya Prakash, et. al., [19] ได้นำเสนอเกี่ยวกับผลกระทบของการปรับเลื่อนอัตราขยายของการควบคุมความถี่โหลดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิก โดยได้จำลองการควบคุมแบบเชื่อมโยงสองพื้นที่ของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนกับพลังงานความร้อนและแบบพลังงานความร้อนกับแบบพลังงานน้ำในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายแบบที่ใช้พีชชีลอจิกและแบบปรับปรุงแบบอัตราขยายที่ใช้พีไอดีดั้งเดิมแล้วเปรียบเทียบผลทั้งสองแบบหลังจากที่ใช้อัตราขยายปกติแล้วเปลี่ยนเป็นอัตราขยายเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบผลทดลองจะได้ว่าหลังจากมีการปรับเพิ่มอัตราขยายขึ้นทั้งสองแบบมีค่าสมรรถนะลู่เข้าค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าลูกลิ้นสูงสุดผลตอบสนองและสมรรถนะที่ดี

K.A.El.Metwally [20] นำเสนอเกี่ยวกับปัญหาของออกแบบระบบตัวควบคุมพีชชีลอจิกในการควบคุมแบบเชื่อมโยงของโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนและพลังงานน้ำแบบสองพื้นที่และการจัดการที่เหมาะสมโดยการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายพีชชีลอจิกควบคุมพีไอแบบใช้พีชชีลอจิกควบคุมและแบบใช้พีไอดั้งเดิมแล้วเปรียบเทียบผลจะได้ว่าแบบที่ใช้อัตราขยายพีชชีลอจิกควบคุมพีไอมีค่าสมรรถนะลู่เข้าค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าลูกคลื่นสูงสุดผลตอบสนองที่ดีกว่ารวมถึงค่าความผิดพลาดรวมสมบูรณ์ก็น้อยกว่าด้วยทำให้ระบบมีคุณภาพการจ่ายที่ดี

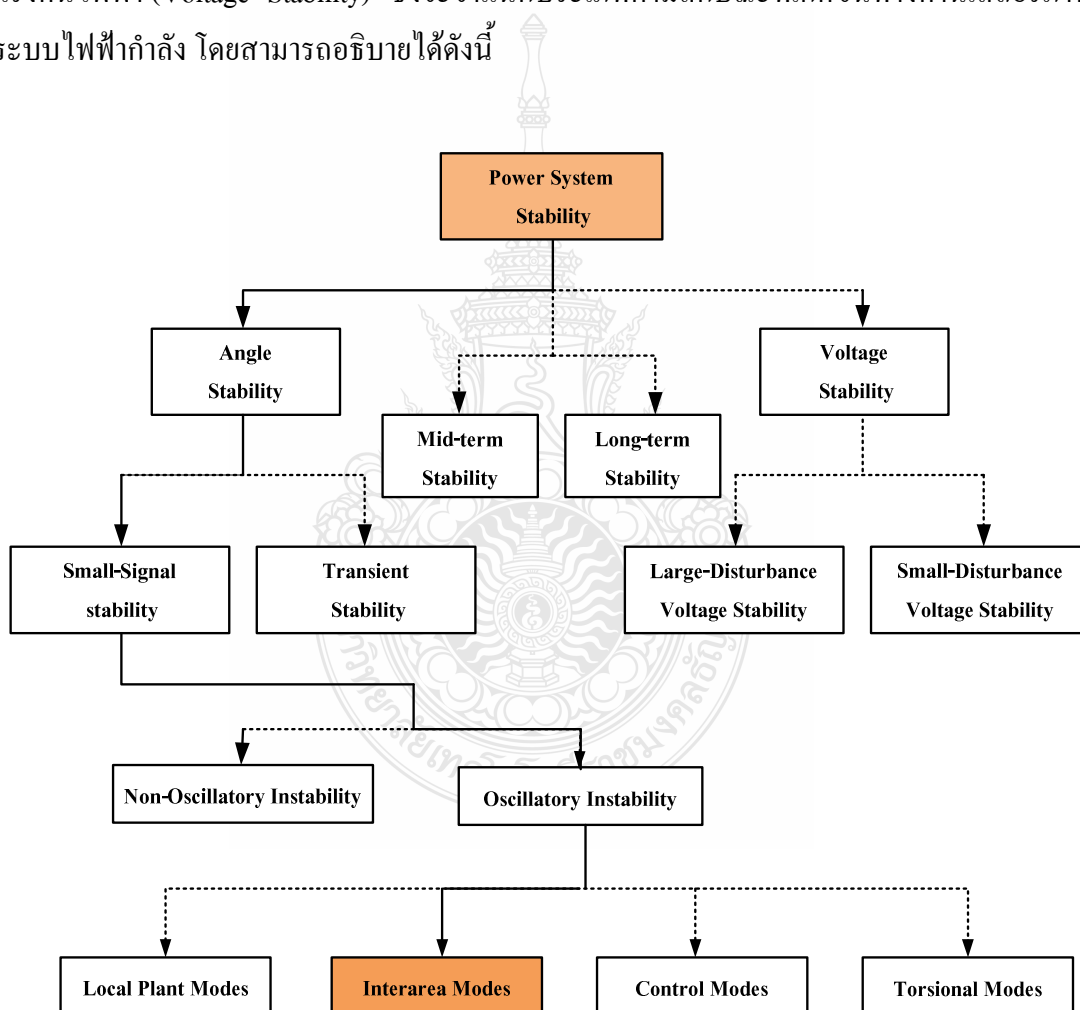
B. Venkata Prasanth, Dr.S.V. Jayaram Kumar. [21] ได้นำเสนอแผนการควบคุมแบบใหม่สำหรับปัญหาและความคงทนของตัวควบคุมความถี่ไหลคของระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่ตัวควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบทั้งแบบพีไอดีและตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่ยังไม่ได้ทำให้เหมาะสมโดยการจำลองระบบโดยใช้ Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิกพีไอดีแบบพีไอดี และแบบพีไอแล้วเปรียบเทียบผลจะได้ว่าแบบที่ใช้พีชชีลอจิกพีไอดี มีค่าสมรรถนะลู่เข้าค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าลูกคลื่นสูงสุดผลตอบสนองที่ดีกว่ารวมถึงค่าความผิดพลาดรวมก็ลดน้อยลง

Jan Jantzen [22] นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบระบบตัวควบคุมพีชชีลอจิกในการควบคุมแบบ ใช้ตัวควบคุมพีไอดีกับพีชชีออกแบบตัวควบคุมปรับปรุงแบบอัตราขยายพีชชีลอจิกพีไอทั้งแบบอัตราขยายพีชชีลอจิกไอดี (FGID) และแบบอัตราขยายพีชชีลอจิกพีไอดี (FGPID) เป็นการควบคุมแบบสองพื้นที่เชื่อมโยงของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้การใช้ตัวควบคุมแบบ FGPID สามารถให้ผลตอบสนองที่ดีกว่ามีลูกคลื่นสูงสุดน้อยลงและค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้น และในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงความถี่แล้วให้ค่าลูกคลื่นต่ำสุดและค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าอ้างอิงและด้านออกของสัญญาณความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า

Saleh Aboreshaid, Sherif O. Faried [23] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม Matlab/Simulation และเทคนิคการออกแบบโดยใช้ Matlab/Simulink ออกแบบตัวควบคุมจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมพีชชีลอจิก-พีไอดีที่ออกแบบมีสมรรถนะในการควบคุมความถี่และมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบได้ดีกว่าตัวควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบทั้งแบบพีไอดีและตัวควบคุมพีชชีลอจิก แล้วเปรียบเทียบผลจะได้ว่าแบบที่ใช้พีชชีลอจิกมีค่าสมรรถนะลู่เข้าค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้น และในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงความถี่แล้วให้ค่าลูกคลื่นสูงสุดผลตอบสนองที่ดีกว่าแสดงให้เห็นว่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์

2.2 เสถียรภาพระบบไฟฟ้า (Power System Stability)

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าคือ ความสามารถของระบบไฟฟ้าที่ระบบสามารถรักษาสมดุลภายใต้การทำงานปกติ และหากเกิดการรบกวนภายในระบบแล้วยังสามารถนำกลับสู่สภาวะสมดุลที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจจะเป็นการรบกวนขนาดเล็ก (Small-Disturbance) หรือการรบกวนขนาดใหญ่ (Large-Disturbance) ก็ได้ โดยหากมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลต่อปัญหาการขาดเสถียรภาพแรงดันในระบบ เสถียรภาพระบบไฟฟ้ายังสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ เสถียรภาพทางมุม (Angle Stability) เสถียรภาพความถี่ (Frequency Stability) และเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า (Voltage Stability) ซึ่งจะจำแนกประเภทตามลักษณะที่เกิดขึ้นทางด้านเสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 2.1 การจำแนกเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

1) เสถียรภาพทางมุม (Angle Stability) คือ ความสามารถของระบบในการรักษาภาวะสมดุลของเครื่องกลซึ่งโครน์สที่เชื่อมต่อกับระบบ และยังคงอยู่ได้ในสภาวะซึ่งโครไนซ์หลังจากเกิดการรบกวนในระบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรักษาและฟื้นฟูให้เกิดความสมดุลระหว่างแรงบิดของสนามแม่เหล็กและแรงบิดทางกลของเครื่องกลซึ่งโครน์สในระบบ สำหรับความไม่มีเสถียรภาพในระบบนี้อาจจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกำเนิดตัวใดตัวหนึ่งในระบบ ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียสภาวะซึ่งโครไนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นในระบบ

2) เสถียรภาพความถี่ (Frequency Stability) คือ ความสามารถของระบบในการรักษาความถี่ให้คงที่ หลังจากเกิดการขาดความสมดุลของแหล่งจ่ายกับโหลดและจะส่งผลกระทบต่อระบบอย่างมาก ซึ่งความสามารถของระบบนี้ขึ้นอยู่กับการรักษาและฟื้นฟูความสมดุลระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลด สำหรับความไม่มีเสถียรภาพนี้อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ทำให้แหล่งจ่ายหรือโหลดถูกตัดออกจากการทำงาน

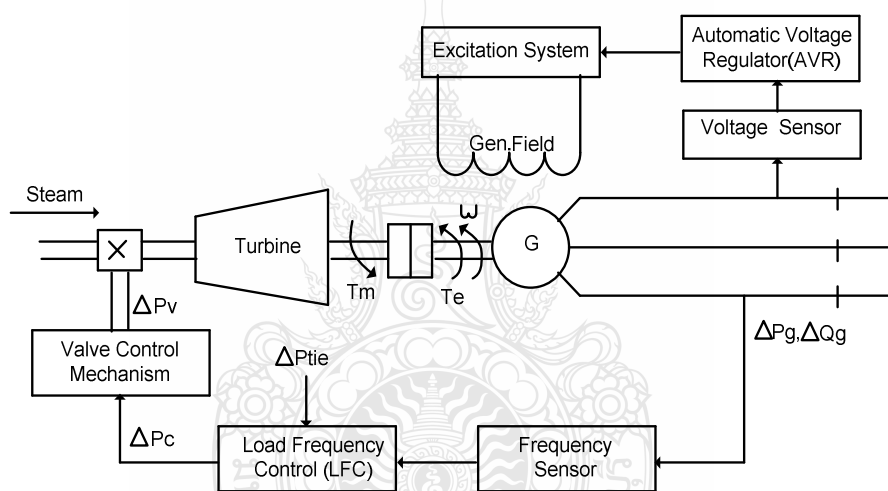
3) เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า (Voltage Stability) คือ ความสามารถของระบบในการรักษา ระดับของแรงดันให้คงที่ทุกบัสในระบบหลังจากเกิดปัญหาขึ้นภายในระบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเก็บรักษาความสมดุลระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายพลังงานในระบบ ความไม่มีเสถียรภาพของแรงดันนี้อาจเกิดขึ้นจากแรงดันที่บัสลดลงหรือเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากการสูญเสียที่โหลดหรือการสูญเสียในสายส่ง [24]

2.3 พื้นฐานระบบการควบคุมเครื่องกำเนิด (Basic Generator Control Loops)

ในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้านั้น การควบคุมความถี่โหลดและการปรับแรงดันอัตโนมัติเป็นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญที่ติดตั้งในระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในสภาวะที่กำลังดำเนินการจ่ายกำลังไฟฟ้าการให้ความสำคัญในรายละเอียดของการปรับตั้งค่าตัวควบคุมและการเปลี่ยนแปลงของโหลด เพื่อรักษาความถี่และแรงดันให้มีขนาดที่เหมาะสมตามค่าที่ตั้งไว้ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริงโดยส่วนใหญ่อาศัยการเปลี่ยนแปลงมุมของโรเตอร์ (δ) และกำลังไฟฟ้าเสมือนก็โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของระบบกระตุ้นเครื่องกำเนิด (Excitation System) ซึ่งในระบบกระตุ้นค่าคงที่ของเวลามีค่าเล็กมากๆ นั่นเพราะว่าค่าคงที่ของเวลาของระบบขับเคลื่อน (Prime Mover) และค่าคงที่ของเวลาทรานเซียนต์ลดลงอย่างรวดเร็วจึงไม่มีผลกระทบต่อควบคุมความถี่ - โหลด แบบไดนามิกมากนัก ดังนั้นการประสานเชื่อมต่อกันระหว่างระบบการควบคุมความถี่ - โหลด และการปรับแรงดันอัตโนมัติ จึงเป็นการวิเคราะห์การควบคุมความถี่โหลดและแรงดันกระตุ้นที่เกิดขึ้นเองในระบบนั้นๆ เพื่อให้เกิดเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

2.4 การควบคุมความถี่ - โหลด (Load Frequency Control)

วัตถุประสงค์ในการดำเนินการควบคุมความถี่โหลดเพื่อเป็นการรักษาความถี่ให้อยู่ในรูปแบบฟอร์มที่คงที่ถูกต้องระหว่างโหลดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและควบคุมแผนการแลกเปลี่ยนเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงความถี่และการเชื่อมโยงกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างพื้นที่เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ทราบค่าต่างๆที่เปลี่ยนแปลงมุมในโรเตอร์ได้ เช่น อัตราการเปลี่ยนแปลงของมุม ($\Delta\delta$) ที่แท้จริง หรือ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ เช่น การเปลี่ยนแปลงของความถี่ (Δf) และ การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างการเชื่อมโยง (ΔP_{ie}) การขยาย การผสมผสานกัน และ การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจริงรูปแบบสัญญาณที่เป็นพื้นฐาน (ΔP_v) นั้นเป็นเหตุผลที่สำคัญของระบบขับเคลื่อน (Prime Mover) ที่เรียกได้ว่าเป็นการเพิ่มแรงบิดของระบบดังกล่าวที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โดอะแกรมของ LFC และ AVR ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

เพราะฉะนั้นในระบบขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงทางด้านเข้าที่พู่ทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ΔP_g) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการควบคุมวาล์วของการเปลี่ยนแปลงความถี่และการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ภายในขอบเขตของวาล์วที่ใช้ในการควบคุม [25-26]

2.4.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิด (Generator Model)

ในการประยุกต์จากสมการสวิงของเครื่องกลแบบซิงโครนัสนั้น เครื่องกั้นจะผลิตแรงบิดหรือทอร์ก (Torque: T_m) ตามทิศทางหมุน ดังภาพที่ 2.2 โดยทอร์กนี้สามารถควบคุมได้โดยตรงจากการไหลจากไอน้ำไปยังเครื่องกั้นด้วยชุดควบคุมบังคับ (Governor) และวาล์วควบคุม

ไอน้ำ (Main Steam Valve) ซึ่งทอร์คนี้จะมีขนาดเท่ากันและต้านทานกับทอร์คแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Torque: T_e) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กของโรเตอร์และสเตเตอร์ โดยทอร์คแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้า P_e ($P_e = T_e \omega_m$) ในการทำงานชุดควบคุม วาล์วจะตรวจสอบความเร็วของเพลลา (ω) หรือ ความถี่ (f) ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ตั้งไว้เท่าไร แล้วจึงพยายามปรับให้ได้ค่าที่ตั้งไว้ โดยการควบคุมตำแหน่งของวาล์วควบคุมไอน้ำ ซึ่งพิจารณาให้อยู่ในสภาวะคงที่และถือเป็นกรณีของระบบสามเฟสสมดุล จึงได้ความสัมพันธ์ของทอร์ค คือ $T_m = T_e$ ในเครื่องจักรกลซิงโครนัสจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 อย่างที่มีผลต่อการหาเสถียรภาพคือ โมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum) และความเฉื่อยคงที่ เรียกค่าความเฉื่อยคงที่ H (H constant) หาได้จากสมการ

$$H = \frac{KE}{G} = \frac{1/2 j \omega_s^2}{G} \quad (2.1)$$

เมื่อ H คือ ค่าความเฉื่อยคงที่, s (MJ/MVA)

KE คือ พลังงานจลน์สะสมในทุกส่วนที่หมุน (โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องกักเก็บ) ที่ความเร็วซิงโครนัส, MJ

G คือ พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, MVA

J คือ โมเมนตัมเฉื่อย (Polar Moment of Inertia) ของทุกส่วนที่หมุน, kg-m^2

ω_s คือ ความเร็วซิงโครนัสเชิงมุม (Angular Synchronous Velocity), rad/s (เรเดียนทางไฟฟ้า/วินาที)

จะได้สมการพลังงานสะสม

$$GH = \frac{1}{2} j \omega_s^2 = \frac{1}{2} M \omega_s, M = j \omega_s \quad (2.2)$$

หรือ

$$M = \frac{2GH}{\omega_s} = \frac{GH}{\pi f} \quad \text{MJ-s / เรเดียนทางไฟฟ้า} \quad (2.3)$$

$$M = \frac{GH}{\pi f} \frac{2\pi}{360} = \frac{GH}{180 f} \quad \text{MJ-s / องศาทางไฟฟ้า} \quad (2.4)$$

เมื่อ M คือ โมเมนตัมเชิงมุม, MJ-s

ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ของเครื่องจักรซิงโครนัสจะเป็นไปตามหลักการเคลื่อนที่แบบไดนามิกคือ

$$T_m = T_e + j \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (2.5)$$

เมื่อ T_m คือ ทอร์กทางกลของเครื่องกังหัน, Nm

T_e คือ ทอร์กแม่เหล็กไฟฟ้าต้านกลับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, Nm

B คือ สัมประสิทธิ์ของทอร์กหน่วง (Damping Torque Coefficient), Nm-s

j คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (Polar Moment of Inertia) ของทุกส่วนที่หมุน, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

ω_m คือ ความเร็วของเพลารอเตอร์, rad/s

สำหรับทอร์กหน่วง $B\omega_m$ เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดทานของแบร์ริงของโรเตอร์แรงลมปะทะและทอร์กอื่นๆ ที่มีทิศทางตรงข้ามกับการหมุนแต่เมื่อเปรียบเทียบทอร์กหน่วงกับทอร์กเทอมอื่นๆ แล้วเราสามารถตัดเทอมของทอร์กหน่วงออกได้เพราะมีค่าน้อยจะได้

$$T_m = T_e + j \frac{d\omega_m}{dt} \quad (2.6)$$

หรือ

$$T_m - T_e = j \frac{d\omega_m}{dt} \quad (2.7)$$

ถ้าคูณสมการที่ (2.7) ด้วย ω_m จะได้

$$T_m \omega_m - T_e \omega_m = \omega_m j \frac{d\omega_m}{dt} \quad (2.8)$$

หรือ

$$P_m - P_e = \omega_m j \frac{d\omega_m}{dt} \quad (2.9)$$

เมื่อ $P_m = T_m \omega_m$ คือ กำลังทางกลของเครื่องกังหัน, W

$P_e = T_e \omega_m$ คือ กำลังเนื่องจากแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, W

ในสภาวะอยู่ตัว คือไม่มีการรบกวนเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะหมุนด้วยความเร็วคงที่ ดังนั้นทอม $d\omega_m/dt=0$ ดังนั้นจะได้สมการในสภาวะอยู่ตัวเป็น

$$P_m - P_e = T_m \omega_m - T_e \omega_m = 0 \quad (2.10)$$

หรือ

$$P_m = P_e, T_m \omega_m = T_e \omega_m \quad (2.11)$$

ถ้าเกิดเหตุการณ์รบกวนขึ้นกับระบบไฟฟ้า เช่นมีการเปลี่ยนแปลงโหลดหรือเกิดฟอลต์ ขึ้นกับระบบ จะทำให้กำลังที่จ่ายให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า P_m และกำลังขาออก P_e มีค่าไม่เท่ากัน สมการ ที่ 2.10 จะไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งในขณะเดียวกันจะเกิดทอร์กเร่ง (Accelerating Torque) เพื่อให้ระบบ กลับคืนสภาวะอยู่ตัวอีกครั้งหนึ่ง ถ้า P_a คือกำลังเร่ง (Accelerating Power) หรือ กำลังหน่วง (Decelerating Power) ที่สอดคล้องกับทอร์กดังนี้

$$P_a = P_m - P_e = T_a \omega_m \quad (2.12)$$

เมื่อ T_a คือ ทอร์กเร่งหรือทอร์กหน่วง, Nm

P_a คือ กำลังเร่งหรือกำลังหน่วง, MW

ถ้ารับทอร์กเร่งของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ด้วยการหมุนจะมีสมการดังนี้

$$T_a = j\alpha \quad (2.13)$$

แทนสมการที่ 2.13 ลงในสมการที่ 2.12 และจากสมการที่ 2.2 จะได้สมการ

$$P_a = (j\omega) \omega_m = M\alpha = P_m - P_e \quad (2.14)$$

เมื่อ α คือ ความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration), rad / s^2

สำหรับความเร็วเชิงมุม ω_m และความเร่งเชิงมุม α ในสมการที่ 2.14 จะมีหน่วยในทอมเรเดียนทางกลของโรเตอร์และสามารถเปลี่ยนเป็นเรเดียนทางไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\text{เรเดียนทางไฟฟ้า} = \text{เรเดียนทางกล} \times \frac{P}{2} \quad (2.15)$$

เมื่อ P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร่งเชิงมุม (α) จะได้

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad \text{rad / s}^2 \quad (2.16)$$

เมื่อ θ คือ การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement) ของโรเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad) ซึ่งสามารถเขียนสมการของ (θ) ได้จากผลบวกของสองทอม คือ

- ตำแหน่งของมุมโรเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ($\omega_s t$) เมื่อเปรียบเทียบกับแกนหมุนอ้างอิงที่ความเร็วเชิงโครนัส
- มุมกำลัง δ ของเครื่องจักรกลเชิงโครนัสเทียบกับแกนหมุนอ้างอิง

ดังนั้น

$$\theta = \omega_s t + \delta \quad \text{rad} \quad (2.17)$$

ทำการดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 2.17 เทียบกับเวลา t จะได้

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_s + \frac{d\delta}{dt} \quad (2.18)$$

ทำการดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 2.17 อีกครั้งหนึ่ง จะได้

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \alpha \quad (2.19)$$

จากสมการที่ 2.17 จะเห็นได้ว่าความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ $d\theta/dt$ จะมีค่าคงที่และเท่ากับความเร็วเชิงโครนัสก็ต่อเมื่อ $d\delta/dt = 0$ ด้วยเหตุนี้ทอม $d\delta/dt$ จึงแสดงถึงความเร็วโรเตอร์ที่

แตกต่างไปจากความเร็วเชิงโคโรนัส มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที และเมื่อแทนค่าความเร่งเชิงมุมจากสมการที่ 2.19 ลงในสมการที่ 2.14 จะได้

$$P_a = P_m - P_e = M \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (2.20)$$

และเรียกสมการที่ 2.19 ว่าสมการการแกว่งหรือสมการสวิง (Swing Equation) แล้วแทนค่า M ด้วยสมการที่ 2.3 และหารด้วยค่า G จะได้สมการสวิงที่มีค่าเปอร์ยูนิตดังนี้

$$P_{a(pu)} = P_{m(pu)} - P_{e(pu)} = \frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (2.21)$$

หรือ

$$P_a = P_m - P_e = \frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad pu \quad (2.22)$$

เมื่อ δ มีหน่วยเป็นเรเดียนทางไฟฟ้า

และ

$$P_a = P_m - P_e = \frac{H}{180f} \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad pu \quad (2.23)$$

เมื่อ δ มีหน่วยเป็นองศาทางไฟฟ้า

P_m คือ กำลังทางกลของเครื่องกังหัน, pu

P_e คือ กำลังทางด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, pu

P_a คือ กำลังเร่งหรือกำลังหน่วง, pu

H คือ ค่าความเฉื่อยคงที่, MJ/MVA

t คือ เวลา, s

f คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้า, Hz

ω_s คือ ความเร็วเชิงโคโรนัสเชิงมุม (Angular Synchronous Velocity), rad/s (เรเดียนทางไฟฟ้า/วินาที)

จากสมการที่ 2.21 หากมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะได้สมการเป็น

$$\Delta P_a = \Delta P_m - \Delta P_e = \frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} \quad (2.24)$$

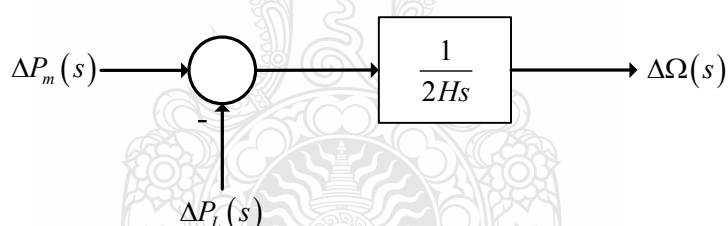
หรือ

$$(\Delta P_m - \Delta P_e) \frac{1}{2H} = \frac{d\Delta\omega}{dt} \quad (2.25)$$

ทำการแปลงเป็น Laplace Transform ของสมการที่ 2.25 จะได้

$$[\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s)] \frac{1}{2Hs} = \Delta\Omega(s) \quad (2.26)$$

แสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.4.2 แบบจำลองของโหลด (Load Model)

ส่วนของโหลดในระบบกำลังไฟฟ้าประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิด ทั้งโหลดประเภทความต้านทานโหลด เช่น โหลดแสงสว่างและฮีตเตอร์ ไฟฟ้ากำลังมีความถี่ที่เกิดขึ้นภายในตัวเอง โหลดประเภทมอเตอร์ก็เป็นโหลดประเภทเปลี่ยนแปลงความถี่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะความเร็วของโหลดและส่วนประกอบหลายๆ อย่างทางด้านระบบขับเคลื่อน โดยพิจารณาได้ดังสมการต่อไปนี้

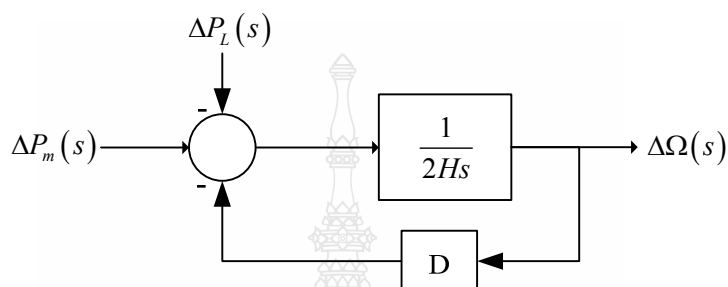
$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega \quad (2.27)$$

เมื่อ ΔP_L คือ การเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่มีผลทางด้านความถี่

ΔP_e คือ กำลังทางด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

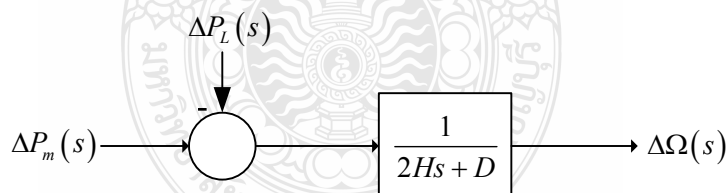
$D\Delta\omega$ คือ การเปลี่ยนแปลงของโหลดที่มีผลต่อความถี่, โดย D เป็นเปอร์เซ็นต์ของโหลดต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่

แสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของโหลด

หรือแสดงบล็อกรวมไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 บล็อกรวมไดอะแกรมของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของโหลด

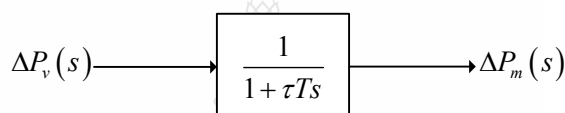
2.4.3 แบบจำลองของชุดขับเคลื่อน (Prime Mover Model)

ส่วนของแหล่งจ่ายระบบกำลังทางกลหรือที่รู้จักกันในนามชุดขับเคลื่อน (Prime Mover) เช่น พลังงานกังหันจากเขื่อน พลังงานกังหันไอน้ำ หรือพลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงอื่นๆ อย่าง ถ่านหิน แก๊ส นิวเคลียร์ ฯลฯ รูปแบบจำลองของกังหันที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในกำลังทางด้านออกทางกล (ΔP_m) ซึ่งส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงควาตัวควบคุมไอน้ำ (ΔP_v) ความแตกต่างของกังหันแต่ละ

ชนิดกันส่งผลอย่างมากต่อคุณลักษณะสมบัติของกังหัน รูปแบบจำลองโดยทั่วไปของชุดขับเคลื่อนสำหรับระบบกังหันไอน้ำแบบไม่ได้นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่สามารถประมาณการได้ด้วยค่าคงที่เวลาของระบบกังหัน (Single Time Constant: τT) โดยเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

$$G_T(s) = \frac{\Delta P_m(s)}{\Delta P_v(s)} = \frac{1}{1 + \tau Ts} \quad (2.28)$$

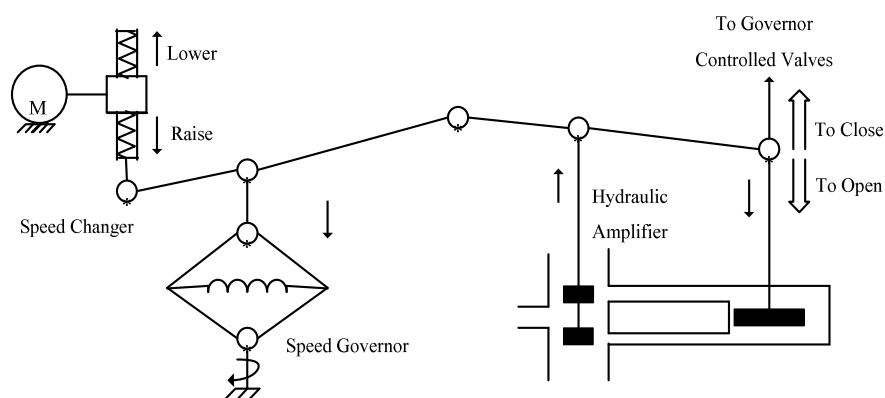
และแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.6 โดยเป็นไดอะแกรมของส่วนกังหันไอน้ำทั่วไปแบบไม่นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่



ภาพที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของส่วนกังหันไอน้ำทั่วไปแบบไม่นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่

2.4.4 แบบจำลองของชุดตัวบังคับ (Governor Model)

เมื่อระบบการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันกำลังทางไฟฟ้ามีค่าเกินกว่ากำลังทางกลในด้านอินพุท ในกรณีที่กำลังงานเกิดไม่เพียงพอที่จะถูกจ่ายจากพลังงานสะสมในระบบการหมุน ดังนั้นพลังงานสะสมจะมีการลดลงในกรณีที่ความเร็วของกังหันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตก โดยทั่วไปความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำการปรับด้วยชุดตัวบังคับของกังหัน ไปบังคับวาล์วทางด้านอินพุทของกังหันจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังงานทางกลทางด้านเข้าที่พุดทำให้เกิดความเร็วที่สภาวะคงที่ใหม่ขึ้นมา เบื้องต้นที่ใช้ชุดกำลังตัวบังคับด้วยความเร็วโดยหัวใจสำคัญของการหมุนชุดไฟล้บอล (Flyballs) และเตรียมการหมุนทางกลไว้ส่งผลให้ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามรูปแบบจำลองของชุดตัวบังคับที่ดีที่สุดจะใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมการปรับความเร็ว ดังภาพที่ 2.7 จะแสดงอุปกรณ์ของชุดตัวบังคับที่สำคัญ



ภาพที่ 2.7 โค้ดแกรมของระบบชุดตัวบังคับควบคุมความเร็ว

1) ชุดตัวบังคับความเร็ว (Speed Governor)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญเมื่อมีการจับชุดไฟลด์บอลด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือผ่านฟันเฟืองที่แกนก้าน การเปลี่ยนแปลงความเร็วเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงเป็นแนวตรงของชุดบังคับทางกลที่สมมาตรกัน

2) การเชื่อมต่อทางกล (Linkage Mechanism)

การเชื่อมต่อส่วนมากสำหรับกระบวนการจับชุดไฟลด์บอลที่ทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงต่อวาล์วควบคุมก้าน ชุดผลักดันไฮดรอลิกและการป้อนกลับไปใหม่จากกระบวนการที่ได้จากชุดวาล์วควบคุมก้าน

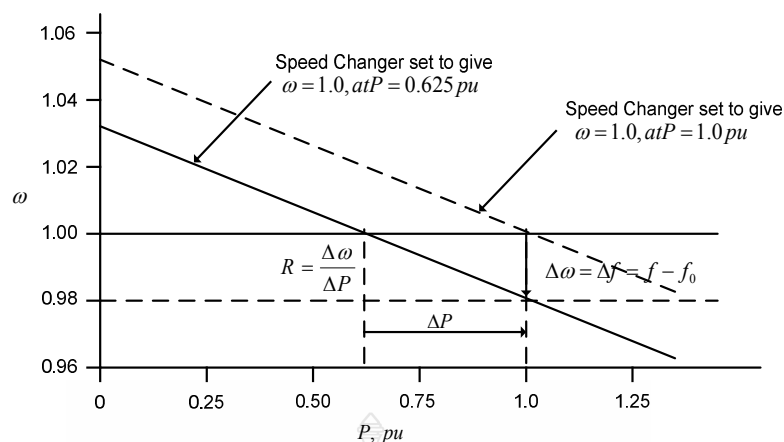
3) ชุดผลักดันไฮดรอลิก (Hydraulic Amplifier)

ต้องใช้แรงขับทางกลอย่างมากที่จะทำการเปิดปิดวาล์วก้านไอน้ำ เพราะนั้นในการดำเนินการของชุดตัวบังคับจึงเป็นการทำให้ต้องใช้วิธีการที่หลากหลายในการออกแรงขับและมีกำลังสูงเพื่อผลักดันไฮดรอลิก

4) ชุดเปลี่ยนความเร็ว (Speed Changer)

ชุดเปลี่ยนความเร็วประกอบไปด้วย เซอร์โวมอเตอร์ (Servomotor) ที่สามารถดำเนินการทั้งแบบปรับด้วยทางกลและอัตโนมัติ สำหรับโหลดที่ความถี่ต่างๆไป โดยการปรับหรือเซตจุดของโหลดที่ต้องการให้รวดเร็วยิ่งขึ้นได้

สำหรับการดำเนินการที่มีเสถียรภาพของชุดตัวบังคับ (Governor) ดังต้องการ สามารถยอมให้ความเร็วลดลงไปและให้โหลดมีค่าเพิ่มขึ้น ในคุณลักษณะสภาวะอยู่ตัวของชุดตัวบังคับดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ไดอะแกรมคุณลักษณะสภาวะอยู่ตัวของชุดตัวบังคับความเร็ว

ในความชัน (Slope) ของเส้นที่แทนด้วยช่วงปรับความเร็ว R ตัวบังคับโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงปรับความเร็วที่ 5-6 เปอร์เซ็นต์ จากศูนย์ถึงฟูลโหลด ชุดตัวบังคับความเร็วทางกลจะเป็นตัวทำการเปรียบเทียบทางด้านออก (ΔP_g) ความแตกต่างระหว่างค่ากำลังอ้างอิงที่ตั้งไว้ (ΔP_{ref}) และค่ากำลังจากคุณลักษณะความเร็วของตัวบังคับ ($\Delta \omega/R$) ดังสมการ

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} = -\frac{1}{R} \Delta \omega \quad (2.29)$$

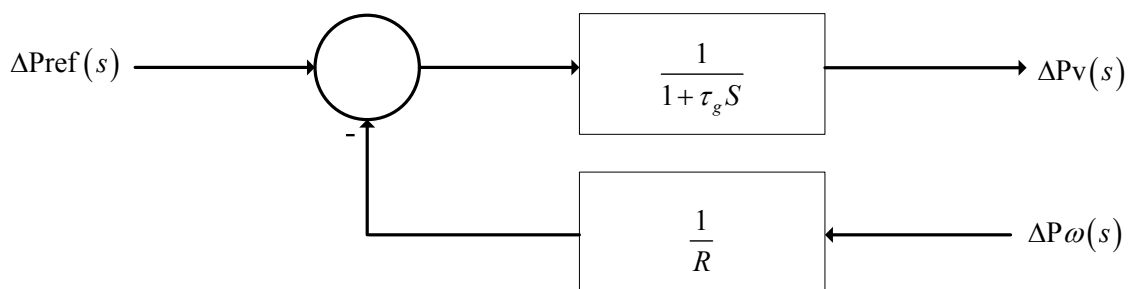
หรือในเทอมของความถี่

$$\Delta P_g(s) = \Delta P_{ref}(s) = -\frac{1}{R} \Delta \Omega(s) \quad (2.30)$$

การบังคับ ΔP_g เป็นการบังคับชุดผลัดคันไฮดรอลิกโดยตรงซึ่งส่งผลต่อชุดบังคับตำแหน่งวาล์วควบคุมไอน้ำสมมุติให้ความสัมพันธ์ของเส้นและให้พิจารณาค่าคงที่เวลาของชุดตัวบังคับ (Simple Time Constant: τ_g) จะได้สมการ

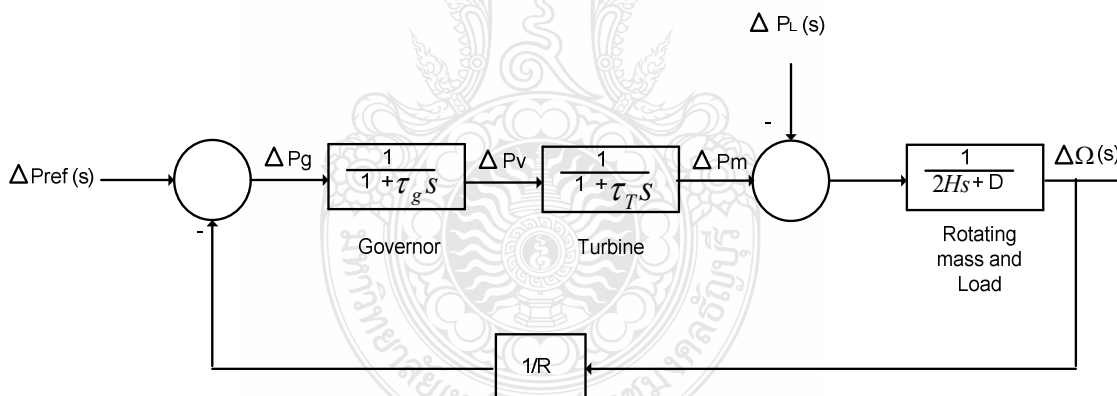
$$\Delta P_v(s) = -\frac{1}{1 + \tau_g s} \Delta P_g(s) \quad (2.31)$$

หรือแสดงบล็อกกรวมไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมผลตอบสนองของระบบตัวบังคับความเร็วสำหรับกังหันไอน้ำ

จากสมการที่ (2.29) และ (2.30) สามารถเขียนแทนได้ด้วยรูปบล็อกไดอะแกรมที่ 2.9 และถ้ารวมบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 2.5 ภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.9 จะได้รูปบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมความถี่โผลดของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าทั่วไป ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมความถี่โผลดของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมภาพที่ 2.10 หากมีการเปลี่ยนแปลงโผลด $-\Delta P_L(s)$ ทางด้านเข้าและความถี่ทางด้านออก $\Delta\Omega(s)$ ถ้าให้บล็อกไดอะแกรมเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปเปิด (Open Loop Transfer Function) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$KG(s)H(s) = \frac{1}{R} \frac{1}{(2Hs + D)(1 + \tau_g s)(1 + \tau_T s)} \quad (2.32)$$

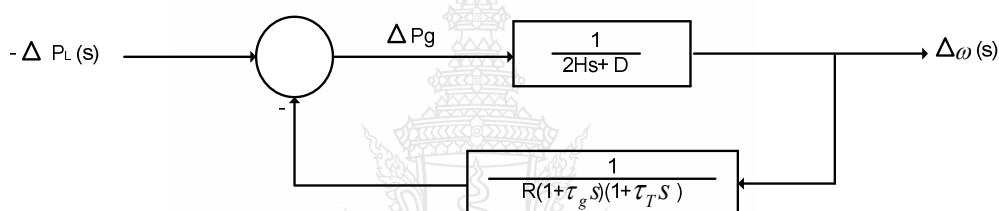
และถ้าเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแบบรูปปิด (Closed Loop Transfer Function) ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโหลด $\Delta P_L(s)$ และความถี่ $\Delta\Omega(s)$ เขียนเป็นสมการได้

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{-\Delta P_L(s)} = \frac{(1 + \tau_g s)(1 + \tau_T s)}{(2Hs + D)(1 + \tau_g s)(1 + \tau_T s) + 1/R} \quad (2.33)$$

หรือ

$$\Delta\Omega(s) = -\Delta P_L(s) T(s) \quad (2.34)$$

หรือแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่โหลดเมื่ออินพุตคือ $\Delta P_L(s)$ และเอาต์พุตคือ $\Delta\Omega(s)$

ถ้าให้ $\Delta P_L(s) = \Delta P_L/s$ เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงทางด้านอินพุตเป็นแบบขั้นบันไดโดยใช้ทฤษฎีค่าสุดท้าย (Final Value) ในสภาวะอยู่ตัว ค่าของ $\Delta\omega(s)$ คือ

$$\Delta\omega_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Delta\Omega(s) = \left(-\Delta P_L \frac{1}{D + 1/R} \right) \quad (2.35)$$

เมื่อ $\Delta\omega_{ss}$ คือ ความเร็วที่สภาวะคงตัวหรือความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป (Steady State Speed or Frequency Deviation)

ถ้า $D = 0$ นั้นแสดงว่า ความถี่ที่โหลดไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะอยู่ตัว จะหาค่าตัวควบคุมชุดตัวบังคับความเร็ว (Governor Speed Regulation, R) ได้ดังนี้

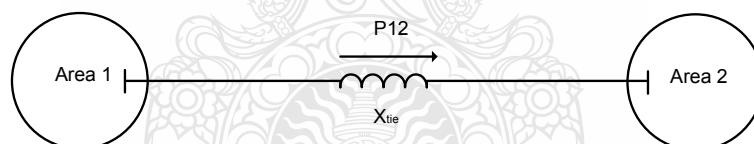
$$\Delta\omega_{ss} = (-\Delta P_L)R \quad (2.36)$$

เมื่อมีเครื่องกำเนิดต่อกันหลายๆชุด ตัวควบคุมตัวบังคับความเร็ว R_1, R_2, \dots, R_n ที่ต่อในระบบ ความถี่ในสภาวะอยู่ตัวจะได้

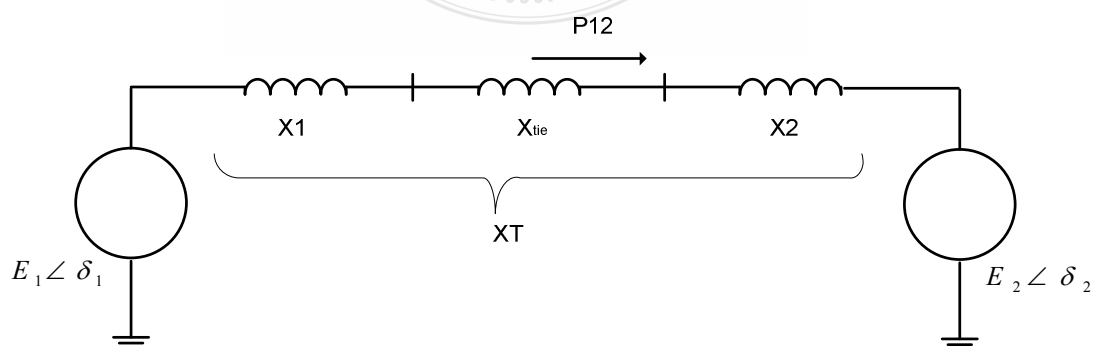
$$\Delta\omega_{ss} = (-\Delta P_L) \frac{1}{D + 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n} \quad (2.37)$$

2.5 การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติในการเชื่อมโยงระบบกำลัง (Automatic Generation Control in Interconnected Power System)

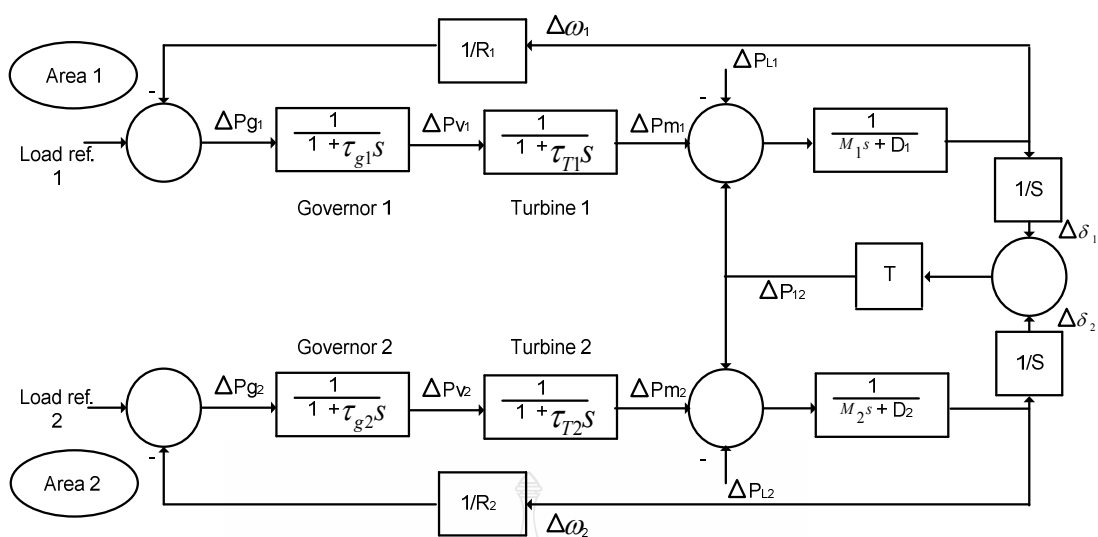
ในรูปแบบและหลักการสำหรับระบบควบคุมเพิ่มเติมของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังสิ่งสำคัญอันดับแรกที่กำลังถึงสมรรถนะของการควบคุมความเร็วทางด้านอินพุต (Primary Speed control) โดยพิจารณาการเชื่อมโยงระบบกำลังประกอบไปด้วยพื้นที่สองพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันโดยมีค่า Reactance (X_{tie}) ระหว่างการเชื่อมโยงสำหรับสมรรถนะความถี่โหลด ผลตอบสนองความถี่ และสมการเทียบเท่าของระบบในการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่สองพื้นที่แสดงได้ดังภาพที่ 2.12 [25-26]



ภาพที่ 2.12 ระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่



ภาพที่ 2.13 สมการเทียบเท่าทางไฟฟ้าแบบสองพื้นที่



ภาพที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมสมการเทียบเท่าแบบสองพื้นที่

จากระบบการเชื่อมโยงและสมการเทียบเท่าทางไฟฟ้ารวมถึงบล็อกไดอะแกรมจะสามารถหาการไหลกำลังไฟฟ้าของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่จาก พื้นที่ 1 ถึง พื้นที่ 2 ดังสมการที่ 2.38

$$P_{12} = \frac{E_1 E_2}{X_T} \sin \delta_{12} \quad (2.38)$$

- เมื่อ P_{12} คือ การไหลกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2
 E_1 คือ แรงดันไฟฟ้าด้านพื้นที่ 1
 E_2 คือ แรงดันไฟฟ้าด้านพื้นที่ 2
 X_T คือ ค่ารีแอ็กแตนซ์รวม ($X_T = X_1 + X_{ie} + X_2$)
 δ_{12} คือ มุมที่เปลี่ยนแปลงของการเชื่อมโยง ($\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$)

จากสมการ 2.38 เขียนในระบบเชิงเส้นเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงกำลังการไหล ΔP_{12} ได้

$$\Delta P_{12} = \left. \frac{dP_{12}}{d\delta_{12}} \right|_{\delta_{12_0}} \Delta \delta_{12} = T \Delta \delta_{12} \quad (2.39)$$

และให้ T คือความลาดชันของมุมกำลังเริ่มต้น $\Delta\delta_{12_0} = \Delta\delta_{1_0} - \Delta\delta_{2_0}$ นั่นคือสัมประสิทธิ์แรงบิดของซิงโครนัส จะได้สมการ

$$T = \left. \frac{dP_{12}}{d\delta_{12}} \right|_{\delta_{12_0}} \frac{E_1 E_2}{X_T} \cos \Delta\delta_{12} \quad (2.40)$$

การไหลของกำลังไฟฟ้าของการเชื่อมโยงสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ

$$\Delta P_{12} = T(\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \quad (2.41)$$

การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดมีค่าเพิ่มขึ้นในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งจะส่งผลให้โหลดอีกพื้นที่หนึ่งมีค่าลดลง ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลซึ่งจะบอกถึงมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่นถ้า $\Delta\delta_1 > \Delta\delta_2$ กำลังไฟฟ้าจะไหลจากพื้นที่ 1 ไปสู่พื้นที่ 2 เป็นต้น ดังนั้นพิจารณาที่การเปลี่ยนแปลงโหลด ΔP_L ใน พื้นที่ 1 ในสภาวะคงตัว (Steady-State) โดยให้สมมุติว่าทั้งสองพื้นที่ใช้สภาวะความถี่เดียวกัน จะได้

$$\Delta\omega = \Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 = \Delta f \quad (2.42)$$

และ

$$\Delta P_{m1} - \Delta P_{12} - \Delta P_{L1} = \Delta\omega D_1 \quad (2.43)$$

$$\Delta P_{m2} + \Delta P_{12} = \Delta\omega D_2 \quad (2.44)$$

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงกำลังทางกลโดยให้เป็นไปตามคุณลักษณะการควบคุมของชุดควบคุมความเร็วจะได้

$$\Delta P_{m1} = \frac{-\Delta\omega}{R_1} \quad (2.45)$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{-\Delta\omega}{R_2} \quad (2.46)$$

และจากสมการที่ 2.43 และ สมการที่ 2.45 หาค่า $\Delta\omega$ ได้จาก

$$\Delta\omega = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)} = \frac{-\Delta P_{L1}}{B_1 + B_2} \quad (2.47)$$

เมื่อให้

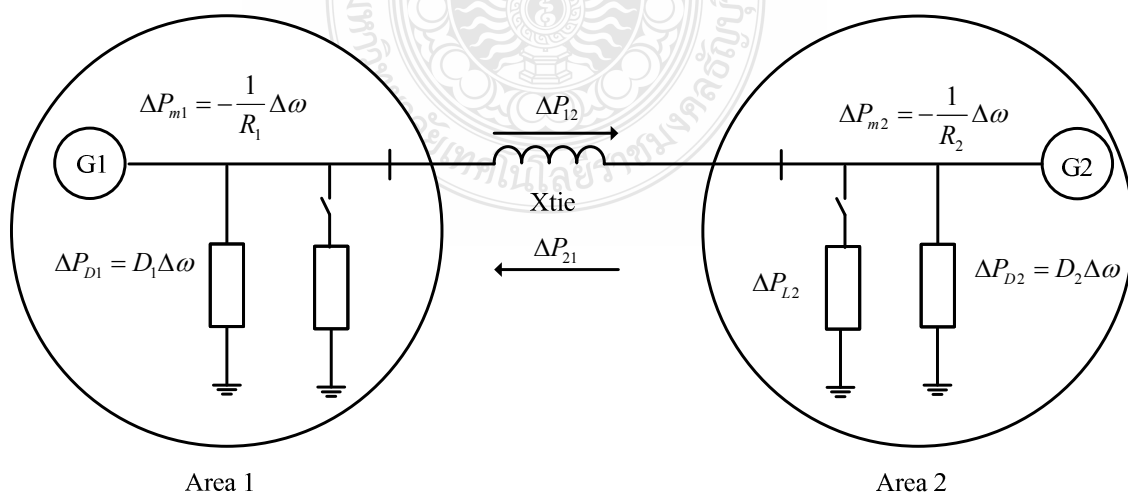
$$B_1 = \frac{1}{R_1} + D_1 \quad (2.48)$$

$$B_2 = \frac{1}{R_2} + D_2 \quad (2.49)$$

B_1 และ B_2 คือ ค่าแฟคเตอร์ไบอัสของความถี่ (Frequency Bias Factors) ของพื้นที่ที่จะได้

$$\Delta P_{12} = -\frac{\left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)} = \frac{B_2}{B_1 + B_2} (-\Delta P_{L1}) \quad (2.50)$$

จะได้ภาพแสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ของโหลดแบบสองพื้นที่

2.6 การควบคุมการไบอัสของระบบเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ (Tie – Line bias Control)

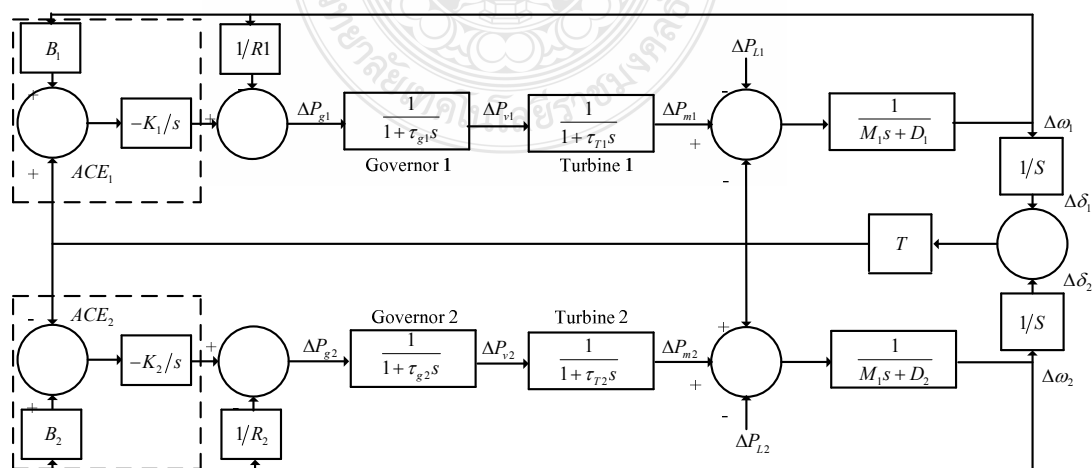
เมื่อการควบคุมความถี่ - โหลด ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ในการควบคุมความถี่ตามองค์ประกอบการควบคุมแล้ว การเปลี่ยนแปลงกำลังที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งย่อมมีผลให้มีการเปลี่ยนแปลงต่อกำลังที่เชื่อมโยงถึงกันระหว่างพื้นที่ที่เสมอ และความถี่มีค่าลดลง ในสภาวะการดำเนินการโดยทั่วไป ระบบกำลังที่จ่ายจะจ่ายตามความต้องการพลังงานและความถี่ปรกติ การควบคุมความถี่ - โหลด อยู่ภายใต้พื้นฐานการควบคุมไบอัสการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ เมื่อเกิดพื้นที่ใดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงในพื้นที่ควบคุมนั้น (Area Control Error; ACE) ในการควบคุมพื้นที่แบบเชิงเส้นของการควบคุมความถี่และค่าผิดพลาดของการเชื่อมโยงดังสมการ [25-26]

$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{ij} + K_i \Delta \omega \quad (2.51)$$

กำหนดให้ K_i เป็นจำนวนของการไบอัสของพื้นที่ ของระยะเวลาการรบกวนกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียง โดยทั่วไปที่ K_i จะเท่ากับค่าแฟกเตอร์ไบอัสความถี่ของพื้นที่ ดังนั้น $B_i = 1/R_i + D_i$ ในพื้นที่ควบคุมความผิดพลาดในระบบแบบสองพื้นที่คือ

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \Delta \omega_1 \quad (2.52)$$

$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2 \Delta \omega_2 \quad (2.53)$$



ภาพที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบแบบสองพื้นที่ด้วยการเพิ่มการควบคุม [25-26]

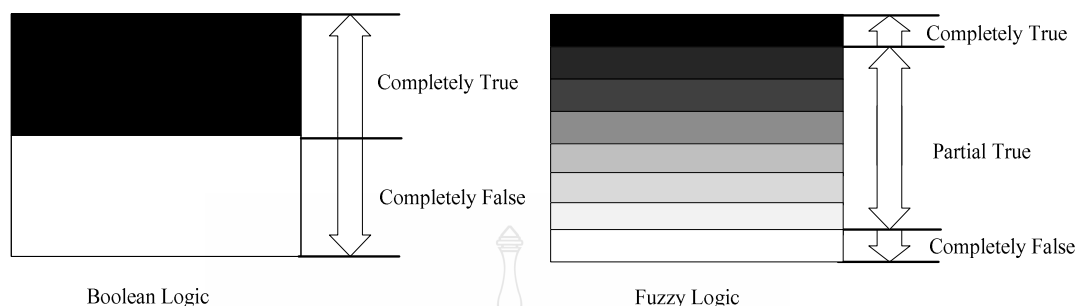
2.7 ระบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ระบบฟัซซีเป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมาย โดยนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ จากการศึกษาทฤษฎีและวิทยาการเกี่ยวกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) หมายถึงการประมวลผลข้อมูลที่ใช้บางส่วนของสมาชิกภายในเซตแทนที่จะใช้สมาชิกทั้งหมดของเซต หรือ ไม่ใช่สมาชิกของเซตเลยแต่ที่นิยมและมีการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดได้แก่ กฎฟัซซีแบบ ถ้า – ดังนั้น (Fuzzy if – then Rule) ตรรกศาสตร์คลุมเครือถูกสร้างขึ้นเพื่อที่จะเลียนแบบการแก้ปัญหาและการตัดสินใจของมนุษย์ แต่ทำให้การตัดสินใจนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น สามารถใช้ความไม่แน่นอนมาเกี่ยวข้องกับการอธิบายโดยใช้ภาษาเพื่อรับข้อมูลอย่างเช่นที่มนุษย์คิดและเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูล ต้องการตัวแปรที่เป็นตัวเลขมากกว่าเพื่อการแสดงความสำคัญของข้อผิดพลาดและให้ความสำคัญเกี่ยวกับอัตราการเปลี่ยนแปลงข้อผิดพลาดนั้นใช้กฎพื้นฐาน เช่น ถ้า X และ Y แล้ว Z แทนการใช้แบบจำลองระบบทางคณิตศาสตร์แบบจำลองตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นการใช้ประสบการณ์มาวัดจะเข้าใจมากกว่าทางเทคนิค โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่นๆ ฟัซซีลอจิกมีข้อดีในเรื่องการมีเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของระบบฟัซซีสามารถเข้าใจได้เนื่องจากสามารถตีความได้ในรูป ถ้า-แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ และนอกจากนั้นฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

2.7.1 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี

ตรรกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในได้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาเลนซ์ (Multi Valence) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับ

ไบบาลานซ์ (Bivalence) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” สามารถที่ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ดังแสดงในภาพที่ 2.17



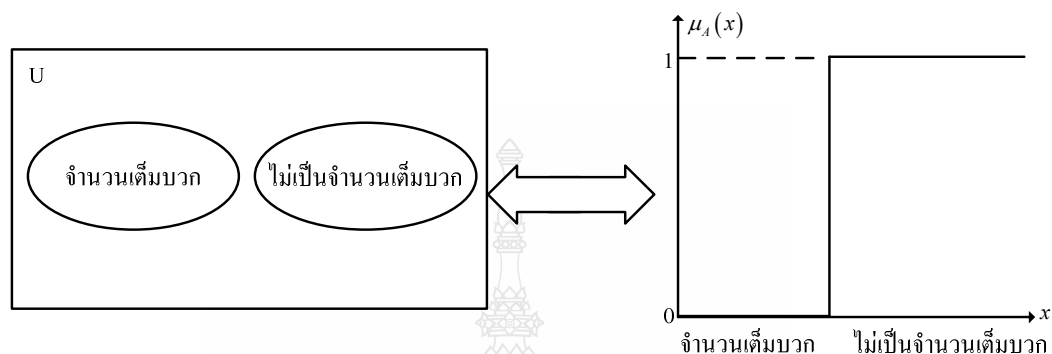
ภาพที่ 2.17 ตรรกะแบบจริงเทียบกับตรรกะแบบฟัซซี

โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยเซตของความไม่แน่นอนเป็นสมาชิก (Set Membership) ดังนั้นตรรกะแบบฟัซซีจึงหมายถึงการประมวลผลข้อมูลที่ใช้บางส่วนของสมาชิกภายในเซต แทนที่จะใช้สมาชิกทั้งหมดของเซต หรือ ไม่ใช้สมาชิกในเซตเลย ถูกสร้างขึ้นเพื่อที่จะเลียนแบบการแก้ปัญหาและการตัดสินใจของมนุษย์ แต่ทำให้การตัดสินใจนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วมากขึ้น

1) เซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่งๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิกดังภาพที่ 2.18 ที่แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของจำนวนเต็มบวกและเซตของไม่ใช่จำนวนเต็มบวก จะเห็นได้ว่าสามารถจะเลือกได้แค่เพียงเซตเดียวเท่านั้น ความเป็นสมาชิกในเซตของไม่ใช่จำนวนเต็มบวกเป็น 0 ส่วนจำนวนเต็มบวกมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตจำนวนเต็มบวกเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับดังนี้

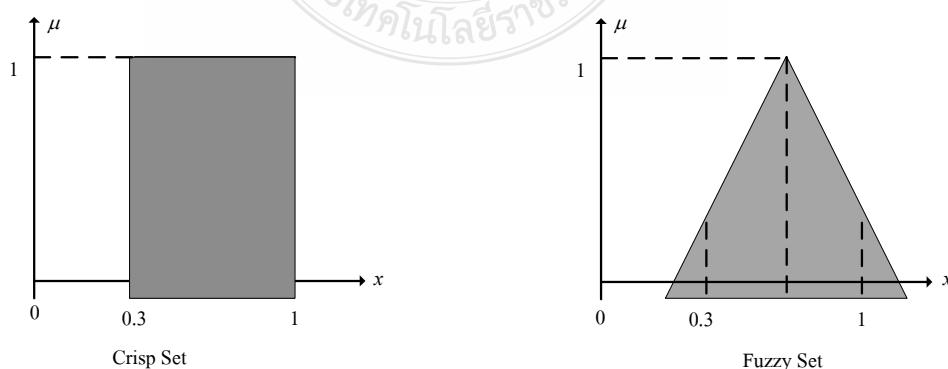
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.54)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A



ภาพที่ 2.18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตแบบฉบับ

2) เซตแบบฟัซซีเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซี ไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำแต่จะค่อยๆกลายจากขาวไปสู่เทาแล้วเข้าสู่ดำแตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ภาพที่ 2.19 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

นิยามของฟังก์ชันเซต กำหนดให้ x เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟังก์ชันเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x) = x \rightarrow [0,1] \quad (2.55)$$

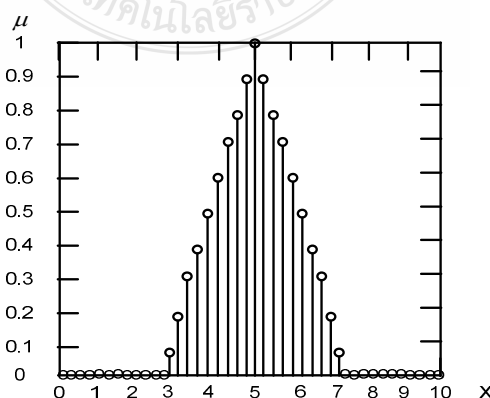
เมื่อ $\mu_A(x)$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟังก์ชันเซต สำหรับแต่ละ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) ฟังก์ชันเซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่อันดับ (Tuples)

$$\underline{A} = \left\{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \right\} \quad (2.56)$$

เมื่อ \underline{A} หมายถึง ฟังก์ชันเซต \underline{A} , x หมายถึง สมาชิกของเซต (Set Membership) $\mu_A(x)$ หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) $\mu_A(x)$ บางครั้งแทนด้วย $\underline{A}(x)$, X หมายถึง เอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร ถ้า $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และ \underline{A} เป็นฟังก์ชันเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิฤต (Discrete) และจำกัดสัญกรณ์ (Notation) ของฟังก์ชันเซต เขียนได้เป็น

$$\underline{A} = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.57)$$

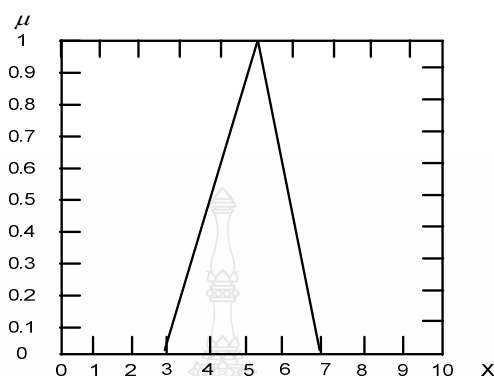
เมื่อ พจน์ $\mu_A(x_i)/x_i$, $i=1,2,\dots,n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต \underline{A} และเครื่องหมาย “+” หมายถึงยูเนียน (Union)



ภาพที่ 2.20 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟังก์ชันแบบวิฤต \underline{A}

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นต่อเนื่องสัญญาณของฟังก์ชันเซต A เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x_i)}{x} \right\} \quad (2.58)$$



ภาพที่ 2.21 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง A

ทฤษฎีฟังก์ชันเซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟังก์ชันเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$ โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิก เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใดๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟังก์ชันเซต ความเป็นสมาชิกสำหรับฟังก์ชันเซต มีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัยจะกำหนดตามดังสมการที่ 2.59

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.59)$$

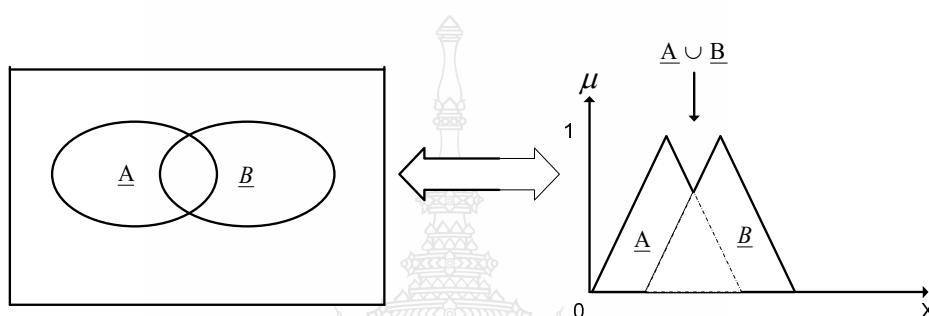
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต

2.7.2 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (Operation) คือ Union, Intersection, Complement และ Subset

- 1) ยูเนียนของฟัซซีเซต จะเป็น OR Operation ในสมการ 2.60 และ ภาพที่ 2.22

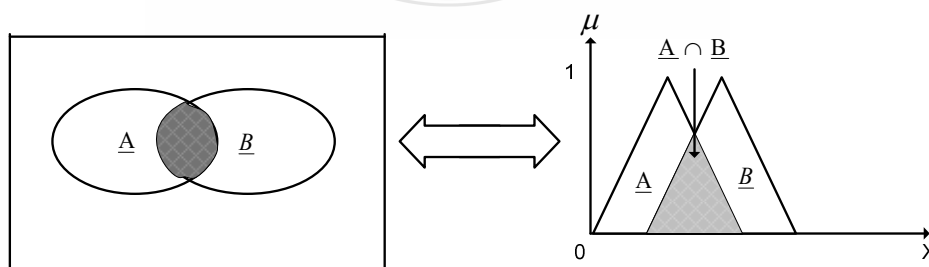
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.60)$$



ภาพที่ 2.22 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

- 2) อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND operation ในสมการ 2.61 และ ภาพที่ 2.23

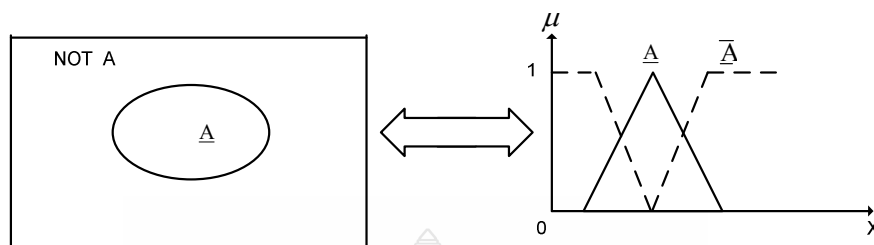
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.61)$$



ภาพที่ 2.23 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

- 3) คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการ 2.62 และภาพที่ 2.24

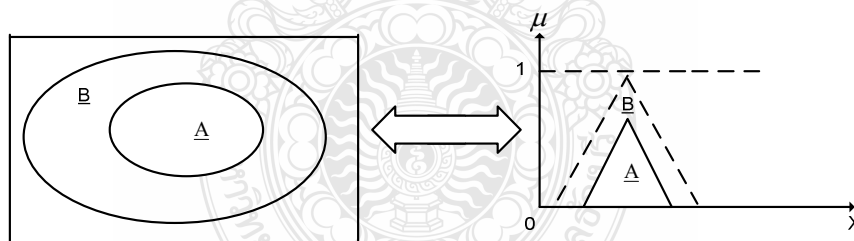
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.62)$$



ภาพที่ 2.24 คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A

- 4) เซตย่อย (Subset) หรือ คอนเทนเมนต์ของฟัซซีเซต ในสมการ 2.63 และภาพที่ 2.25

$$\underline{A} \subset \underline{B} \rightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (2.63)$$



ภาพที่ 2.25 เซตย่อยของฟัซซีเซต A

2.7.3 คุณสมบัติของเซตฟัซซี

เซตฟัซซีมีคุณสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับเซตแบบฉบับ ได้แก่

กฎการสลับที่ (Commutativity)

$$\underline{A} \cup \underline{B} = \underline{B} \cup \underline{A}$$

$$\underline{A} \cap \underline{B} = \underline{B} \cap \underline{A}$$

กฎการจัดกลุ่ม (Associativity)	$\underline{A} \cup (\underline{B} \cup \underline{C}) = (\underline{A} \cup \underline{B}) \cup \underline{C}$ $\underline{A} \cap (\underline{B} \cap \underline{C}) = (\underline{A} \cap \underline{B}) \cap \underline{C}$
กฎการกระจาย (Distributivity)	$\underline{A} \cup (\underline{B} \cap \underline{C}) = (\underline{A} \cup \underline{B}) \cap (\underline{A} \cup \underline{C})$ $\underline{A} \cap (\underline{B} \cup \underline{C}) = (\underline{A} \cap \underline{B}) \cup (\underline{A} \cap \underline{C})$
กฎความเหมือน (Idempency)	$\underline{A} \cup \underline{A} = \underline{A}, \underline{A} \cap \underline{A} = \underline{A}$
กฎเอกลักษณ์ (Identity)	$\underline{A} \cup 0 = \underline{A}, \underline{A} \cap X = \underline{A}$ $\underline{A} \cap 0 = 0, \underline{A} \cup X = X$
กฎการส่งผ่าน (Transitivity)	$If (\underline{A} \subseteq \underline{B}) \cap (\underline{B} \subseteq \underline{C}), Then \underline{A} \subseteq \underline{C}$
กฎการผกผัน (Involution)	$\overline{\overline{\underline{A}}} = \underline{A}$
กฎของ De Morgan	$\overline{(\underline{A} \cap \underline{B})} = \overline{\underline{A}} \cup \overline{\underline{B}}$ $\overline{(\underline{A} \cup \underline{B})} = \overline{\underline{A}} \cap \overline{\underline{B}}$

จากคุณสมบัติและตัวกระทำของพีชคณิตต่าง ๆ นี้ทำให้เราสามารถสร้างเซตในรูปแบบความสัมพันธ์แบบอื่นๆ ได้อีก

2.7.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของพีชคณิต เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาใช้และพิจารณาากมี 6 ชนิดดังนี้

1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$

$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2.64)$$

2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$

$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2.65)$$

3) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{gaussian}(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right) \quad (2.66)$$

4) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$

$$\text{bell-shaped}(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.67)$$

5) ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$S(x : a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (2.68)$$

6) ฟังก์ชันตัวแซด (Z-Membership Function)

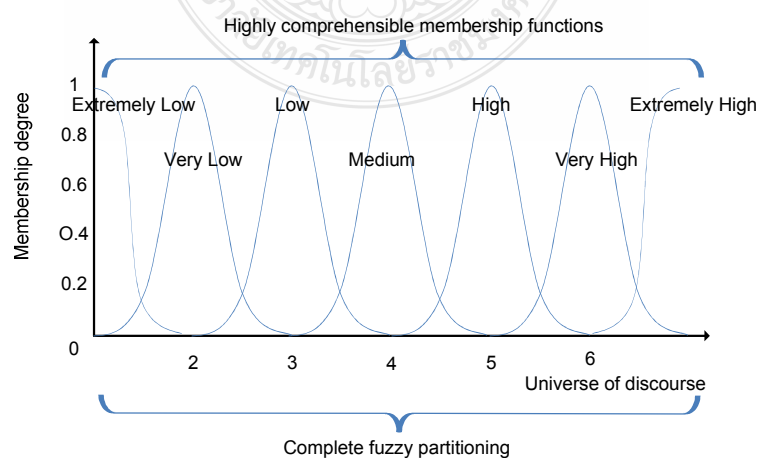
ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$Z(x : a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2.69)$$

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

2.7.5 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัยสามารถเขียนได้เป็นปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็นหรือ Temperature Quantity is Cold ตัวแปร Temperature Quantity เป็นตัวแปรภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (Linguistic Term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกซึ่งแสดงความหมายของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับด้านเข้าที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (Composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable)

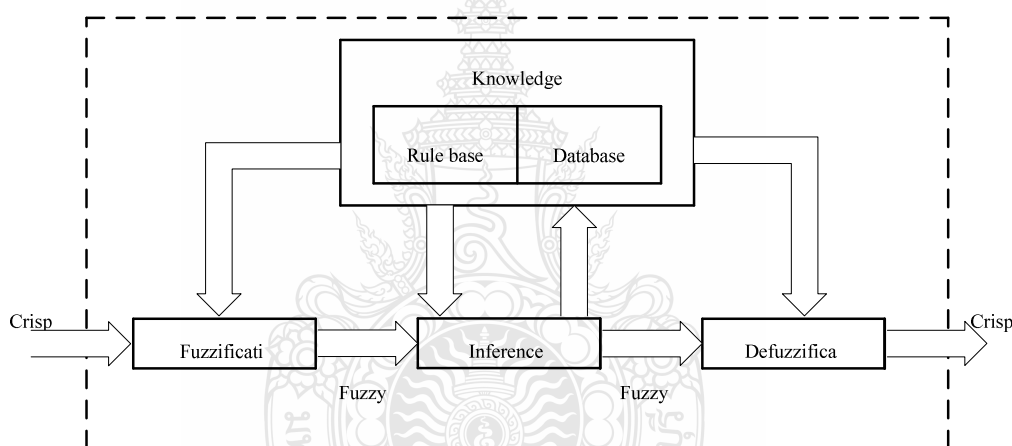


ภาพที่ 2.26 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็น ทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4) ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขางานด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่นๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน ภาพที่ 2-26 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

2.7.6 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดัง ภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

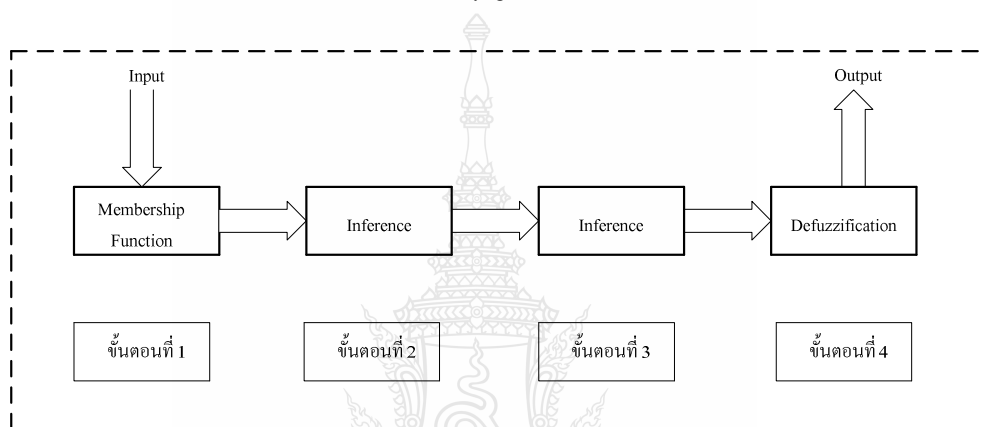
ฐานข้อมูลเป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

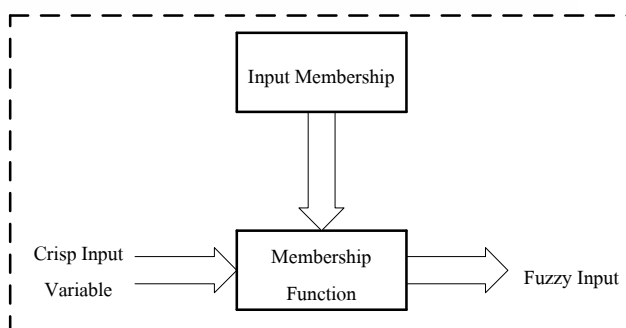
2.7.7 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจากโครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผล ดังแสดงในภาพที่ 2.28



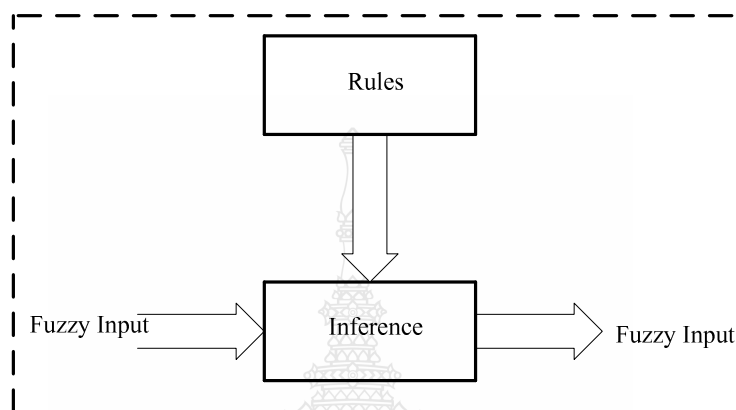
ภาพที่ 2.28 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 2.29



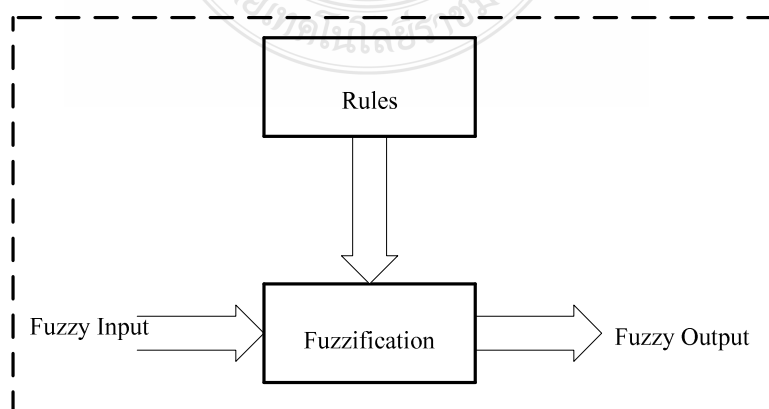
ภาพที่ 2.29 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะมีการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 2.30



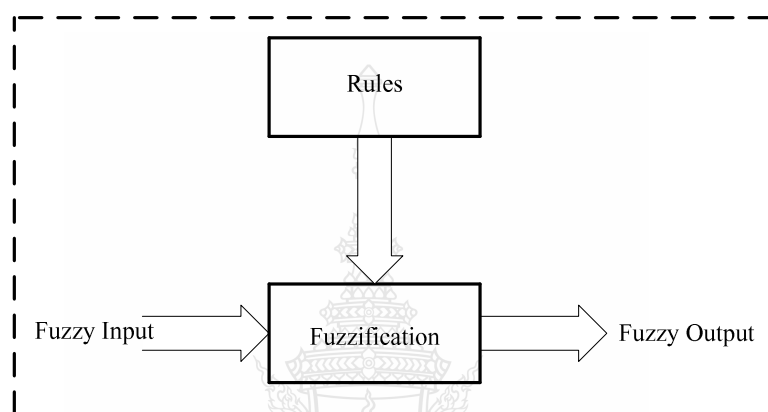
ภาพที่ 2.30 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลวิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method ดังภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามภาพที่ 2.32 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity, COG) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ วิธีการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว



ภาพที่ 2.32 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วงเป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (2.70)$$

เมื่อ COG คือ ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)

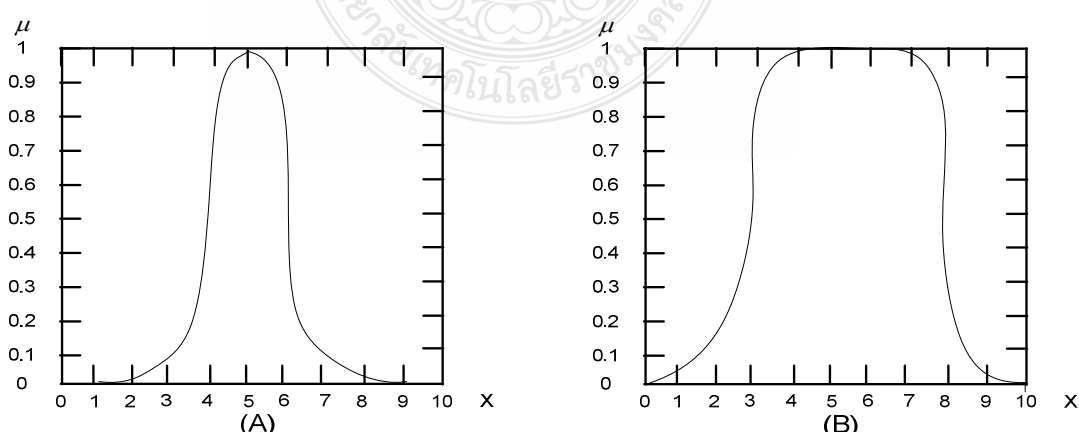
N คือ ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

α_i คือ ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

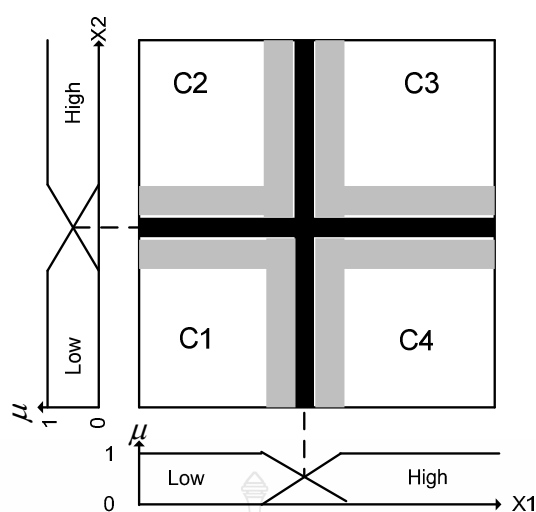
w_i คือ พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

2.7.8 กฎฟัซซี (Fuzzy Rules)

ในระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือเครื่องจักรอัจฉริยะ (Machine Intelligence) มีวิธีการหลายวิธีในการที่จะแสดงองค์ความรู้ของมนุษย์ในรูปแบบต่างๆ เช่น ตรรกะ (Logic) เฟรม (Frames) โครงข่ายความหมาย (Semantic Nets) ภาววิทยา (Ontology) และกฎ (Rules) ซึ่งแบบหลังสุดเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในระบบฟัซซี วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (fuzzy if-then rule) ถ้า ข้อตั้ง (ข้อนำ) IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent) ดังนั้น ข้อยุติ (ข้อตาม) เป็นที่รู้จักกันในนาม “รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น” (IF-THEN rule-based form) หรือ รูปแบบนิรนัย (Deductive Form) ในรูปแบบการแสดงอนุมาน หากเราทราบความจริง (ข้อตั้ง ข้อสมมุติฐาน หรือข้อนำ) แล้วเราสามารถอนุมาน หรือหาข้อสรุปความจริงอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่าข้อยุติหรือข้อตาม การแสดงรูปแบบองค์ความรู้นี้ เรียกว่า องค์ความรู้ตื้น (Shallow Knowledge) ซึ่งค่อนข้างมีความเหมาะสมในบริบทของภาษา เนื่องจากการแสดงประสบการณ์ของมนุษย์และองค์ความรู้เชิงศึกษาสำนึก (Heuristics) ในรูปแบบประโยคภาษามนุษย์ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป แต่ไม่เป็นรูปแบบองค์ความรู้ที่ลึกล้ำ แบบที่เป็นการรู้เอง เป็นโครงสร้าง เป็นฟังก์ชัน หรือเป็นพฤติกรรมของวัตถุรอบ ๆ ตัวเรา อย่างที่เรียกว่า อุปนัย (Inductive) ระบบกฎฟัซซีเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการจัดรูปแบบของระบบที่ซับซ้อนที่สามารถสังเกตได้โดยมนุษย์ เพราะระบบเหล่านี้สามารถแสดงด้วยตัวแปรภาษาในข้อนำและข้อตามของกฎได้ ตัวแปรภาษาสามารถนำเสนอแสดงเชิงธรรมชาติด้วยฟัซซีเซตและตัวเชื่อมตรรกะของเซตเหล่านั้น ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดังภาพที่ 2.33 ในภาพที่ 2.34 แสดงปริภูมิรูปแบบ (Pattern Space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี



ภาพที่ 2.33 ฟังก์ชันกฎการแยกกลุ่ม (A) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (B) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ



ภาพที่ 2.34 ปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากภาพที่ 2.34 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3

กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์

ภาษา (Linguistic Terms), ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

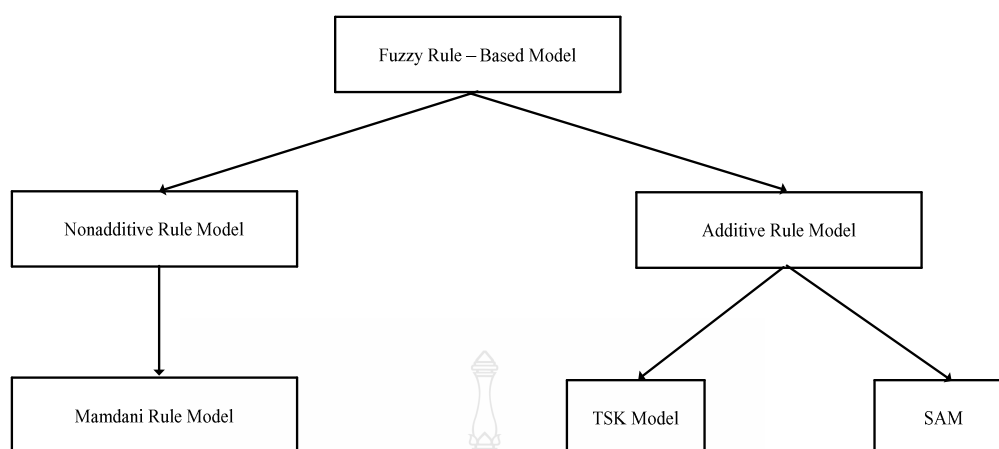
สมมติให้กฎข้อ $i, i = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ A_i เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ i มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น $C_k, k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ ... และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า A_{21} และ x_2 มีค่า A_{22} และ ... และ x_n มีค่า A_{2n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ i : ถ้า x_1 มีค่า A_{i1} และ x_2 มีค่า A_{i2} และ ... และ x_n มีค่า A_{in} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_k

2.7.9 ชนิดของระบบกฎฟัซซี



ภาพที่ 2.35 กลุ่มของระบบกฎฟัซซี

ในการประมาณค่าฟังก์ชัน (Function Approximation) ระบบกฎฟัซซีที่ใช้มี 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ (1) รูปแบบ Mamdani (2) รูปแบบ Takagi-Sugeno-Kang (TSK) และ (3) รูปแบบ Standard Additive Model (SAM) รูปแบบ Mamdani รวมผลการอนุมาน (Inference) ของกฎ โดยวิธีการซ้อนทับ (Superimposition) จากกฎหลายๆ ข้อ ซึ่งไม่เป็นแบบบวกกัน จึงเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น Nonadditive Rule Model แต่สำหรับ TSK และ SAM มีการอนุมาณแบบรวมค่าน้ำหนัก (Weighted Sum) จากหลายๆ กฎ เพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย จึงเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น Additive Rule Model การจัดกลุ่มของระบบกฎแบบฟัซซีแสดงในภาพที่ 2.35 เนื่องจากฟัซซีลอจิกเป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ ด้านวิศวกรรม ด้านงานระบบควบคุมต่างๆ ในด้านพลังงาน และระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งได้นำไปประยุกต์ใช้งานด้านการควบคุมระบบที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายพลังงานไฟฟ้านับวันจะยิ่งมีความต้องการเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานมีหลากหลายวิธีมากยิ่งขึ้นความต้องการการใช้พลังงานก็เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต จึงมีความต้องการระบบที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามโหลดที่เปลี่ยนแปลงและมีเสถียรภาพ

1) ระบบกฎฟัซซีของ Mamdani เป็นระบบที่มีความนิยมใช้มากที่สุดระบบหนึ่งในทางปฏิบัติ เป็นระบบที่ใช้ตัวแปรภาษาทั้งในข้อตั้งและข้อตามเพื่อจัดเทียบฟังก์ชันจาก เป็น $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ เป็น W

กฎที่ 1: IF (x_1 is A_{11}) AND (x_2 is A_{12}) AND... AND (x_n is A_{1n}) THEN y is C_1

กฎที่ 2: IF (x_1 is \underline{A}_{21}) AND (x_2 is \underline{A}_{22}) AND... AND (x_n is \underline{A}_{2n}) THEN y is \underline{C}_2

กฎที่ L: IF (x_1 is \underline{A}_{L1}) AND (x_2 is \underline{A}_{L2}) AND... AND (x_n is \underline{A}_{Ln}) THEN y is \underline{C}_L

เมื่อ $x_j, j = 1, \dots, n$, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต x, y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (Consequence Linguistic Term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง (Antecedent Membership Function) ในกฎที่ $i, i = 1, \dots, L, C_i$ เป็นพจน์ภาษาของข้อตามหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตาม (Consequent Membership Function) ของกฎที่ i
กำหนดให้ $\underline{A}_i^s =$ เป็นฟัซซีเซตใหม่ สำหรับกฎข้อ $i, i=1, \dots, L$

$$\underline{A}_i^s = \underline{A}_{i1} \cap \underline{A}_{i2} \cap \dots \cap \underline{A}_{in} \quad (2.71)$$

แสดงในรูปฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้เป็น

$$\mu_{\underline{A}_i^s}(x) = \min(\mu_{\underline{A}_{i1}}(x_1), \mu_{\underline{A}_{i2}}(x_2), \dots, \mu_{\underline{A}_{in}}(x_n)) \quad (2.72)$$

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาในรูป

$$(x_1 = x'_1), (x_2 = x'_2), \dots, (x_n = x'_n) \quad (2.73)$$

โดยที่ x_1, x'_2, \dots, x'_n เป็นค่าอินพุตใดๆ จะได้ค่าฟัซซีในส่วนของข้อตั้งเป็น

$$\alpha_i = \min(\mu_{\underline{A}_{i1}}(x'_1), \mu_{\underline{A}_{i2}}(x'_2), \dots, \mu_{\underline{A}_{in}}(x'_n)) \quad (2.74)$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซีแบบ Mamdani ที่เป็นค่าฟัซซีสามารถหาได้จากสมการ

$$\mu_{\underline{C}_i}(y) = \alpha_i \wedge \mu_{\underline{C}_i}(y) \quad (2.75)$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อโดยใช้สมการ

$$\mu_{\underline{c}_i}(y) = \max(\mu_{\underline{c}_1}(y), \mu_{\underline{c}_2}(y), \dots, \mu_{\underline{c}_n}(y)) \quad (2.76)$$

ฟังก์ชันเอาต์พุตสามารถแปลงเป็นค่าปกติได้โดยวิธี Defuzzification แบบเฉลี่ยน้ำหนัก

$$y^* = \frac{\sum \mu_C(\bar{y}) \times \bar{y}}{\sum \mu_C(\bar{y})} \quad (2.77)$$

เมื่อ \bar{y} เป็นค่า Centroid ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สมมาตร

- วิธีการอนุมานแบบ Mamdani

กำหนดให้ ระบบฟัซซีแบบ Mamdani มี 2 อินพุต x_1 และ x_2 (Antecedent) และ 1 เอาต์พุต y

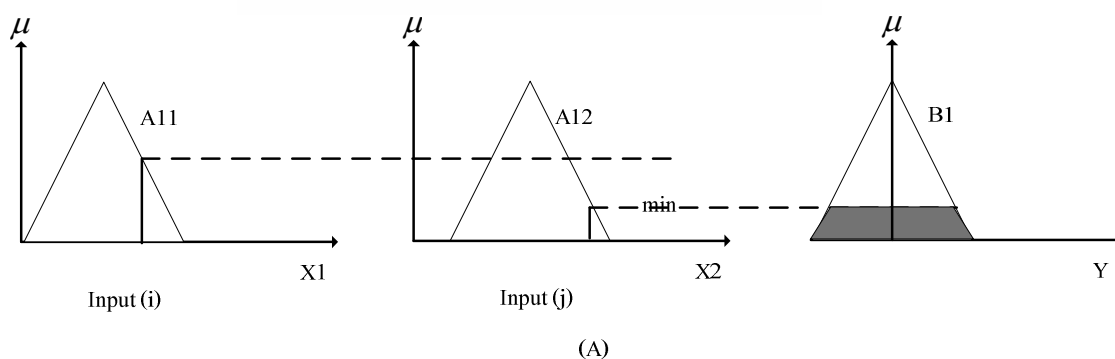
(Consequent) ซึ่งมีกฎฟัซซีเป็น

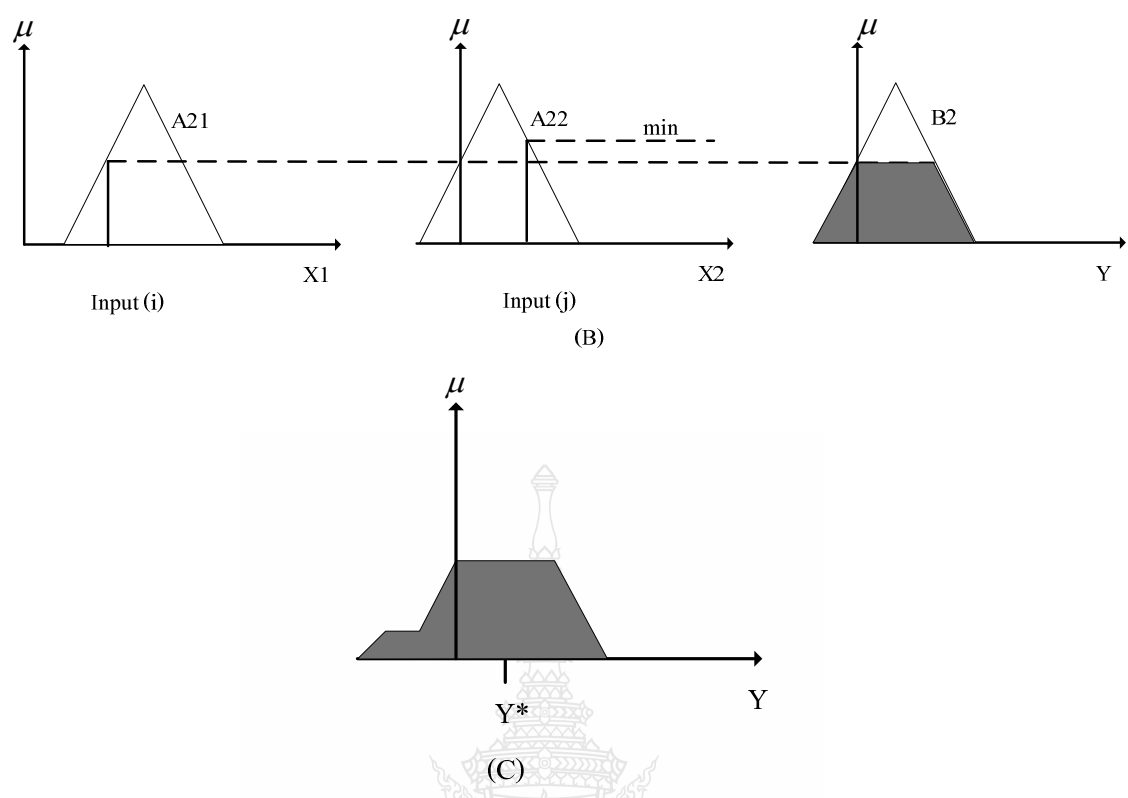
IF x_1 is \underline{A}_{k1} and x_2 is \underline{A}_{k2} THEN y is \underline{B}_k สำหรับ $k=1,2,\dots,r$

ผลรวมเอาต์พุตหาได้ โดยการใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (max-min composition) และวิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ (max-product composition)

- วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด

$$\mu_{\underline{B}_k}(y) = \max[\min(\mu_{\underline{A}_{k1}}(\text{Input}(i)), \mu_{\underline{A}_{k2}}(\text{Input}(j)))] \quad \text{สำหรับ } k=1,2,\dots,r \quad (2.78)$$

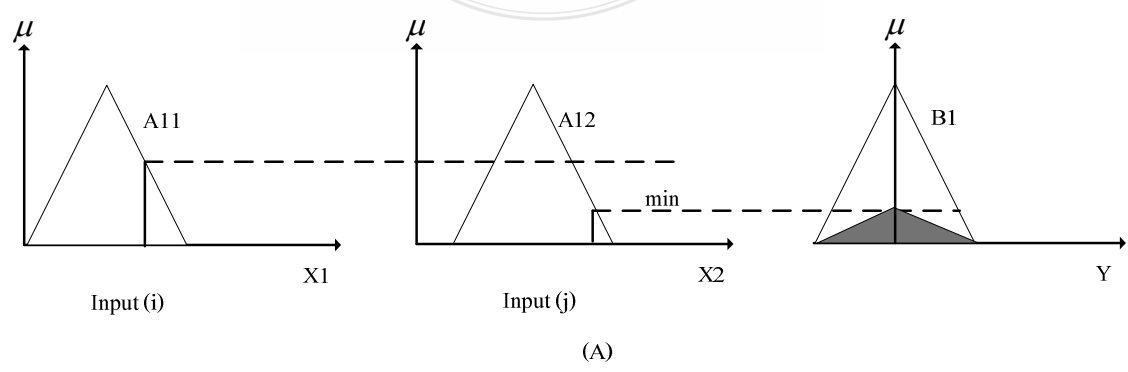


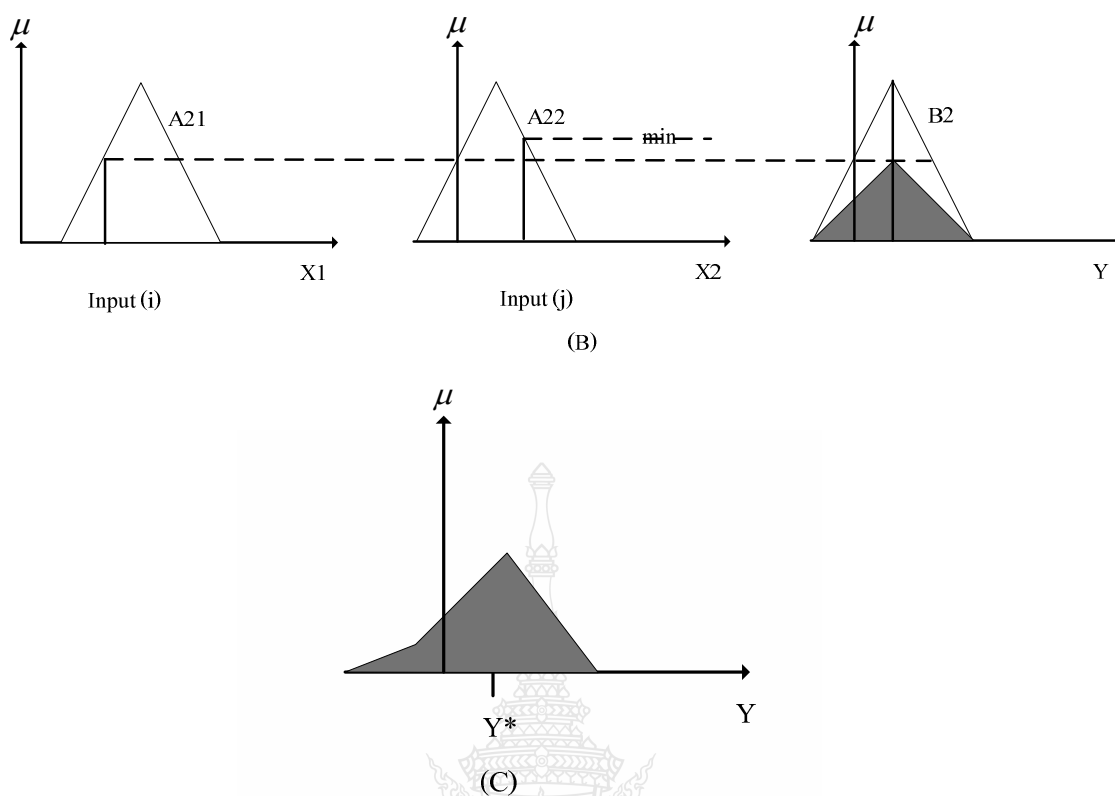


ภาพที่ 2.36 วิธีการอนุมานแบบ Mandani (Max – Min) โดย (A) เป็นกฎที่ 1, (B) เป็นกฎที่ 2 (C) เป็นผลรวมของทั้งสองกฎ

- วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ

$$\mu_{B_k}(y) = \max(\mu_{A_{k1}}(Input(i)) \cdot \mu_{A_{k2}}(Input(j))) \text{ สำหรับ } k=1,2,\dots,r \quad (2.79)$$





ภาพที่ 2.37 วิธีการอนุมานแบบ Mamdani (Max – Product) โดย (A) เป็นกฎที่ 1, (B) เป็นกฎที่ 2 และ (C) เป็นผลรวมของทั้งสองกฎ

2) ระบบกฎฟัซซีของ TSK (Takagi - Sugeno - Kang)

ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK ซึ่งนำเสนอโดย Takagi และ Sugeno ในปีค.ศ. 1984 และต่อมา Sugeno และ Kang ได้วิจัยต่อมา ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1: IF (x_1 is \underline{A}_{11}) AND (x_2 is \underline{A}_{12}) AND... AND (x_n is \underline{A}_{1n})

THEN $y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{10} + b_{11}x_1 + \dots + b_{1n}x_n$

กฎที่ 2: IF (x_1 is \underline{A}_{21}) AND (x_2 is \underline{A}_{22}) AND... AND (x_n is \underline{A}_{2n})

THEN $y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{20} + b_{21}x_1 + \dots + b_{2n}x_n$

กฎที่ L: IF (x_1 is \underline{A}_{L1}) AND (x_2 is \underline{A}_{L2}) AND... AND (x_n is \underline{A}_{Ln})

THEN $y_L = f_L(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{L0} + b_{L1}x_1 + \dots + b_{Ln}x_n$

เมื่อ $x_j, j = 1, \dots, n$, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต x, y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (Consequence Linguistic Term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง (Antecedent Membership Function) ในกฎที่ $i, i = 1, \dots, L$, f_i เป็นสมการเชิงเส้นของข้อตาม (Consequence Linear Function) ของกฎข้อที่ i ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาในรูปแบบ

$$(x_1 = x'_1), (x_2 = x'_2), \dots, (x_n = x'_n) \quad (2.80)$$

โดยที่ $x'_1 = x'_2, \dots, x'_n$ เป็นค่าอินพุตใดๆ จะได้ค่าฟัซซีในส่วนข้อตั้งเป็น

$$\alpha_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x'_1), \mu_{A_{i2}}(x'_2), \dots, \mu_{A_{in}}(x'_n)) \quad (2.81)$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซีแบบ TSK สามารถหาได้จากสมการ

$$y_i = b_{i0} + b_{i1}x_1 + \dots + b_{in}x_n \quad (2.82)$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อโดยใช้สมการ

$$y = \frac{\sum_{i=1}^L \alpha_i \times y_i}{\sum_{i=1}^L \alpha_i} \quad (2.83)$$

- การอนุมานฟัซซีแบบ TSK

Michio Sugeno ได้นำเสนอแบบวิธีการอนุมาน (1985) ที่แตกต่างไปจากวิธีของ Mamdani โดยต้องการลดขั้นตอนของการคำนวณหาจุดถ่วงในการทำดีฟัซซี Sugeno ได้ใช้เส้นตรงโทนในการแทนฟังก์ชันสมาชิกของส่วน THEN กฎของฟัซซี ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

IF x is A
AND y is B
THEN z is $f(x,y)$

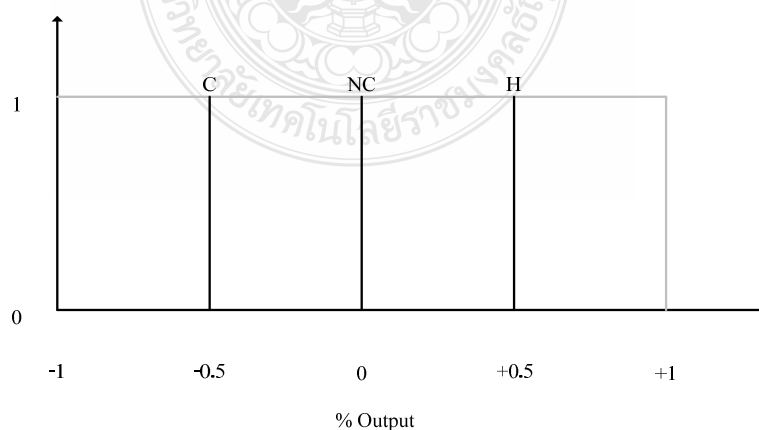
โดยที่ x, y และ z เป็นตัวแปรภาษา A และ B เป็นค่าเชิงภาษา (หรือฟัซซีเซต) $f(x, y)$ คือ ฟังก์ชันของตัวแปร x และ y ตัวอย่างของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ที่นิยมใช้ในแบบจำลองฟัซซีของ Sugeno อันดับศูนย์ (Zero-Order Sugeno Fuzzy Model) คือ

IF x is A
AND y is B
THEN z is k

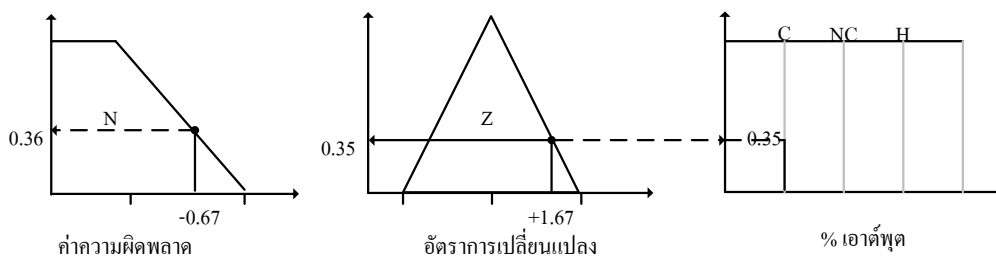
โดยที่ k เป็นค่าคงที่ ในที่นี้ค่าเอาต์พุตของแต่ละกฎจะเป็นเส้นตรงโทน (ดังภาพที่ 2.38) ซึ่งทำให้ค่อนข้างสะดวก สำหรับขั้นตอนการรวบรวมกฎและภาพที่ 2.39 แสดงระบบควบคุมที่ใช้การอนุมานฟัซซี แบบ Sugeno จะเห็นได้ว่าความแตกต่างของระบบฟัซซีแบบ Sugeno มีเพียงส่วนเอาต์พุตเท่านั้น สังเกตความง่ายในการรวบรวมกฎ รวมไปถึงการทำดีฟัซซีเอาต์พุตของระบบสามารถคำนวณหาค่าเอาต์พุตที่ได้จากทำดีฟัซซีนี้เรียกว่าค่าน้ำหนักเฉลี่ย (Weighted Average หรือ WA)

$$WA = \frac{\sum_{m=1}^L \mu(k_m) x k_m}{\sum_{m=1}^L \mu(k_m)} \quad (2.84)$$

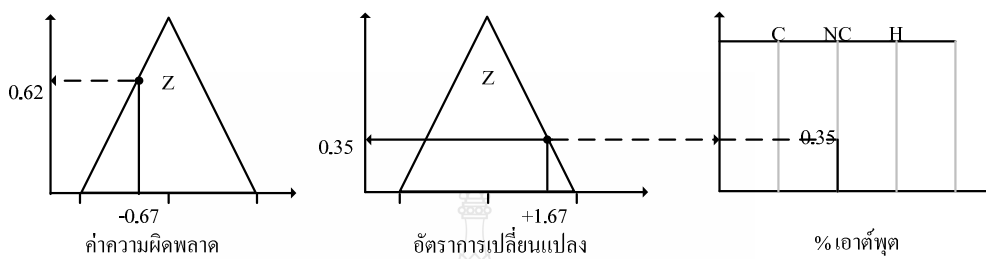
โดยที่ $\mu(k_m)$ คือค่าระดับความเป็นสมาชิกของเส้นตรงโทน k_m



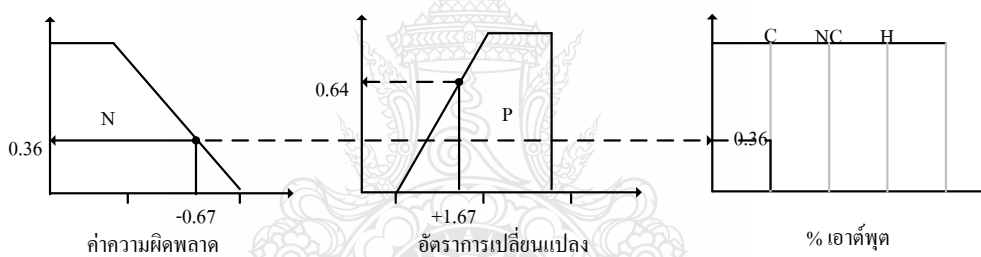
ภาพที่ 2.38 ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตแบบ TSK



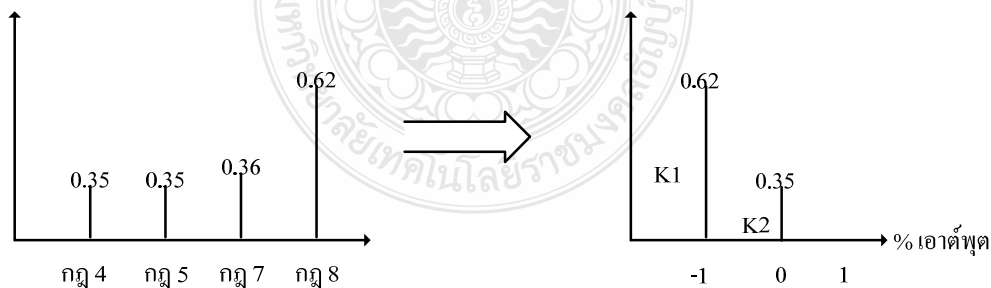
กฎ 4) IF (error = N) AND (Error Rate = Z) THEN Output = C



กฎ 5) IF (error = N) AND (Error Rate = Z) THEN Output = NC



กฎ 7) IF (error = N) AND (Error Rate = P) THEN Output = C



ภาพที่ 2.39 วิธีการอนุมานแบบ TSK

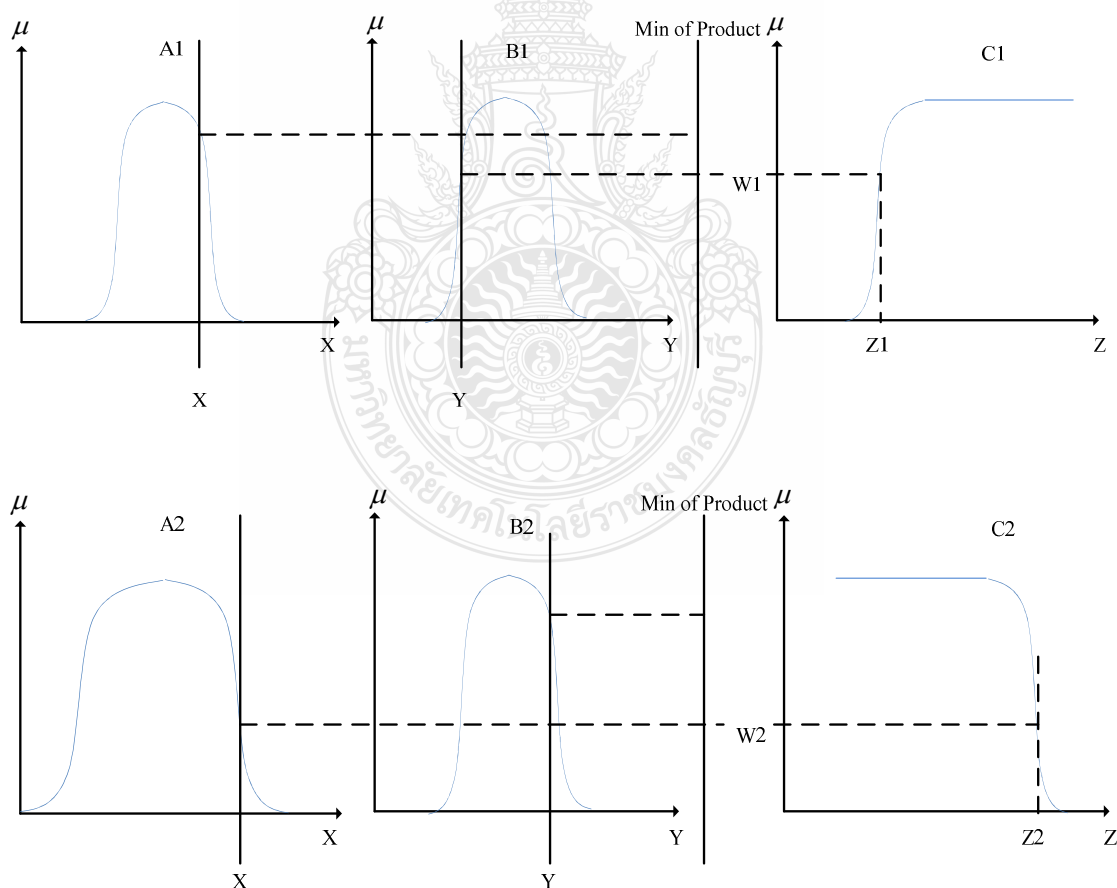
3) ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน (Standard Additive Model: SAM)

ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน เช่น ระบบฟัซซีแบบซูกาโมโต หรือ Tsukamoto's Fuzzy System (Tsukamoto, 1979) ในระบบนี้ส่วนข้อตั้งและข้อตามจะเป็นพจน์ภาษาคล้ายกับ ระบบฟัซซี

ของ Mamdani แต่ส่วนของข้อตาม (Consequent) ของกฎฟัซซีจะถูกแสดงเป็นฟังก์ชันเซตซึ่งมีฟังก์ชันสมาชิกแบบทางเดียว (Monotonic Membership Function) (ดังภาพที่ 2.40) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบทางเดียวบางครั้งเรียกว่า Shoulder Function เป็นค่าอนุমানเอาต์พุตของแต่ละกฎที่เป็นค่าธรรมดาทั่วไป (Crisp Value) ผลเอาต์พุตทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเอาต์พุตจากแต่ละกฎ ดังสมการ

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^L w_i \times z_i}{\sum_{i=1}^L w_i} \quad (2.85)$$

เนื่องจากกฎแต่ละข้อมีค่าเอาต์พุตเป็นค่าใช้งานทั่วไปแล้ว ระบบจะรวมเอาต์พุตทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องอาศัยวิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าธรรมดา ดังนั้นจึงประหยัดเวลามากขึ้น



ภาพที่ 2.40 วิธีการอนุมานแบบ Tsukamoto Fuzzy Model

Weighted Average

$$Z = \frac{W_1Z_1 + W_2Z_2}{W_1 + W_2} \quad (2.86)$$

2.7.10 กระบวนการหาเหตุผลแบบฟัซซี

ทฤษฎีของการหาเหตุผลอย่างประมาณ ได้นำเสนอโดย Zadeh เมื่อปี ค.ศ. 1979 โดยทฤษฎีนี้เป็นรูปแบบที่สำคัญสำหรับการให้เหตุผลจากสภาพแวดล้อมที่เกิดจากความคลุมเครือและไม่แน่นอน หัวใจหลักของทฤษฎีนี้ได้แก่ การจัดองค์ประกอบของประโยคจากการใช้เซตแบบฟัซซีเป็นตัวแปร ในตรรกะเชิงประพจน์ (Propositional Logic) ข้อความทั่วไปสามารถสร้างโดยการแสดงเป็นประโยคต่างๆ เป็นหน่วยเบื้องต้นเรียกว่า ประพจน์ (Proposition) และ การเชื่อมประพจน์กับตัวเชื่อมประโยคที่ซับซ้อน ได้แก่ \neg “ไม่” (not), \wedge “และ” (and), “หรือ” (or), \Rightarrow “สื่อความ” (imply) จุดมุ่งหมายสำคัญของตรรกะแบบฟัซซีคือการที่สามารถให้อนุมานเชิงเหตุผล ถึงแม้ว่าเงื่อนไขของกฎการสื่อความจะสอดคล้องกันเพียงบางส่วน ความสามารถนี้เราเรียกว่าการให้เหตุผลอย่างประมาณ (Approximate Reasoning) การให้เหตุผลอย่างประมาณสามารถทำได้สองทาง ได้แก่ 1. การแสดงความหมายของกฎการสื่อความแบบคลุมเครือด้วยความสัมพันธ์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Relation) และ 2. การรับข้อสรุปอนุมานด้วยการใช้กฎการจัดองค์ประกอบ (Compositional Rule) ของการอนุมานไปยังความสัมพันธ์การสื่อความแบบคลุมเครือ (Fuzzy Implication Relation) จุดมุ่งหมายสูงสุดของตรรกะแบบคลุมเครือ คือการจัดรูปแบบพื้นฐานทฤษฎีสำหรับการให้เหตุผลเกี่ยวกับประพจน์ที่ไม่แน่นอน การให้เหตุผลเช่นนี้เรียกว่าการให้เหตุผลอย่างประมาณ (Approximate Reasoning) การให้เหตุผลอย่างประมาณจะคล้ายกับการให้เหตุผลในตรรกะแบบฉบับด้วยการประพจน์ชนิดเที่ยง (Precise Propositions) ดังนั้นการให้เหตุผลอย่างประมาณจึงเป็นตัวขยายของประพจน์แบบฉบับ (Classical Propositional) ที่ยอมให้มีความจริงบางส่วนได้ รูปแบบของกฎเกณฑ์ที่จะแสดงข้อมูลแบบฟัซซี กฎเหล่านี้ถูกแสดงในรูปแบบ ข้อนำ-ข้อตาม (Antecedent-Consequent Form) หรือ รูปแบบถ้า-แล้ว (If-Then Form) และสรุปเป็นขั้นตอนในการพัฒนาระบบฟัซซีลอจิก คือ

- 1) กำหนดรายละเอียดของปัญหา เช่น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ
- 2) พิจารณาตัวแปรในระบบและทำการกำหนดตัวแปรภาษา เช่น ตัวแปรค่าความผิดพลาด (Error) หรือตัวแปรอัตราค่าความผิดพลาด (Error Rate) ฯลฯ จำนวนตัวแปรที่เพิ่มขึ้น การออกแบบระบบก็จะมีคามซับซ้อนมากขึ้นด้วย
- 3) ออกแบบตัวฟัซซีเซตสำหรับตัวแปรภาษา เช่น ค่าความเป็น บวก (Positive หรือ P), ศูนย์ (Zero หรือ Z), ลบ (Negative หรือ N) ของตัวแปรค่าความผิดพลาดต่างๆ ฯลฯ เราอาจจะใช้ค่าที่

ละเอียดมากขึ้นของตัวแปรภาษาเหล่านี้ได้ เช่น บวกมาก (Positive Big หรือ PB), ลบมาก (Negative Big หรือ NB), บวกปานกลาง (Positive Medium หรือ PM), ลบปานกลาง (Negative Medium หรือ NM), บวกน้อย (Positive Small หรือ PS), ลบน้อย (Negative Small หรือ NS) เป็นต้น ค่าที่ละเอียดขึ้นนี้จะทำให้ระบบทำงานราบเรียบยิ่งขึ้น นอกไปจากการออกแบบตัวแปรภาษาแล้ว ยังรวมถึงรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นฟังก์ชันสมาชิก, รูปร่างของฟังก์ชัน ฯลฯ

4) ออกแบบกฎของฟัซซี ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญต่อการทำงานของระบบ โดยปกติแล้วขั้นตอนนี้จะได้รับการพิจารณาออกแบบด้วยผู้เชี่ยวชาญในระบบนั้นๆ ในบางระบบได้มีการนำเอาเครื่องมืออื่นๆ มาช่วยในการสร้าง หรือสกัดกฎดังกล่าวโดยอัตโนมัติ เช่น โครงข่ายประสาทเทียม หรือระบบนิวโร – ฟัซซี (Neuro – Fuzzy) เป็นต้น

5) ออกแบบการอนุมานฟัซซี ที่ซึ่งมีพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องพิจารณา เช่น ชนิดของการอนุมานฟัซซีแบบ Mandani หรือแบบอื่น เป็นต้น

6) ทดสอบ ปรับแต่ง ประเมินผลและแก้ไขระบบ ความง่ายและความยืดหยุ่นในการออกแบบใช้งานฟัซซีลอจิก ทำให้ฟัซซีได้รับความนิยมอย่างมาก สามารถนำไปใช้ในรูปแบบตัวควบคุมเชิงตาราง (Table – Based Controller) ได้ ถ้าค่าของตัวแปรต่างๆ เป็นค่าคิสิกิต (ไม่ต่อเนื่อง) เราสามารถออกแบบระบบฟัซซีแล้ว ทำการบันทึกเก็บไว้ในรูปของตารางค้นหา (Look – up Table) ได้ ลักษณะการใช้งานดังกล่าวลดความยุ่งยากในการคำนวณ มีความเร็วสูงในการใช้งานจริง [27-28]

2.8 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องของระบบการควบคุมความถี่โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกนั้นจะสามารถมีเสถียรภาพและสมรรถนะดีกว่าระบบที่ไม่มีมีการควบคุมหรือมีการควบคุมแบบพีไอ จากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปดังเสนอในรายละเอียดข้างต้น จุดประสงค์ในที่นี่เพื่อสร้างแบบจำลอง วิเคราะห์และจำลองระบบการควบคุมความถี่โหลดในระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่และผลกระทบต่อกรเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แล้วเปรียบเทียบผล เนื่องจากปัญหาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า การไหลของกำลังไฟฟ้า การควบคุมความถี่ของระบบของการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอและเชื่อถือได้มีคุณภาพที่ดี ทำให้เกิดความสมดุลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ยั่งยืนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ การออกแบบตัวควบคุมและการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกดังที่ศึกษามาดังกล่าวก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมความถี่โหลดของระบบได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3

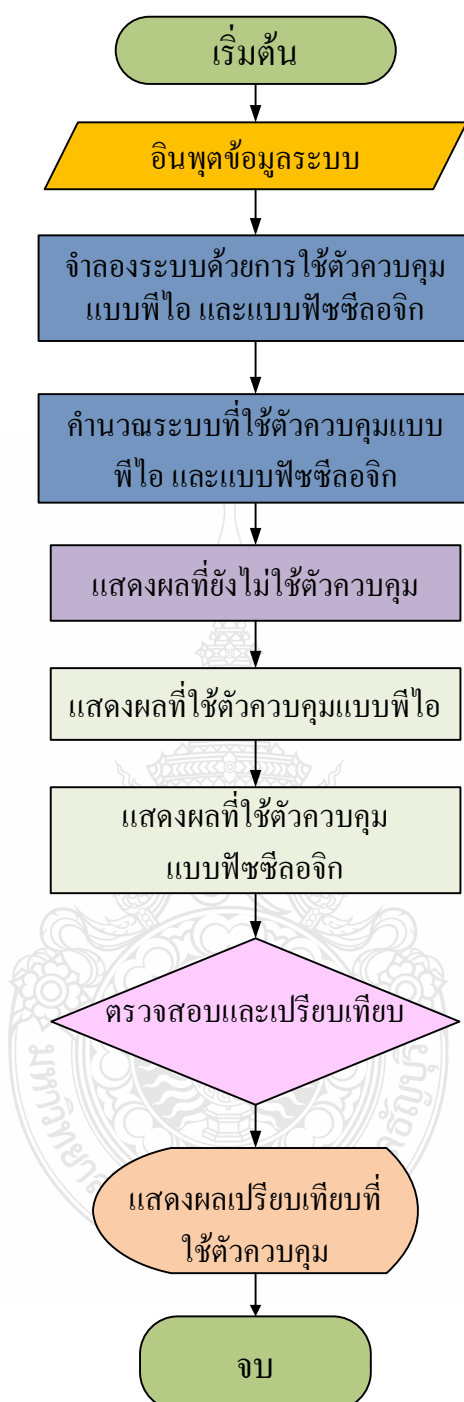
วิธีดำเนินการวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์และจำลองระบบออกแบบตัวควบคุมความถี่ - โหลดของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิกเปรียบเทียบกับแบบการควบคุมทั่วไปและตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้จำลองระบบของโรงไฟฟ้าที่ 3 และ โรงไฟฟ้าที่ 4 ของบริษัทไทยเพาเวอร์ ซับพลาย จำกัด เขตอุตสาหกรรมแหลมเขา อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยการจำลองระบบใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบ และอาศัยข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากการจำลองระบบเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ของตัวควบคุมความถี่ แล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไปพล็อตกราฟ จากนั้นทำการวิเคราะห์แสดงค่าเปรียบเทียบของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

วิทยานิพนธ์นี้จะใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจำลองระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 3.1 ซึ่งใช้วิธีจำลองระบบของโรงไฟฟ้าที่ 3 จ่ายโหลดอยู่ในเขตพื้นที่ 1 และ โรงไฟฟ้าที่ 4 จ่ายโหลดอยู่ในเขตพื้นที่ 2 โดยมีรายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) รับข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดและโรงไฟฟ้าทั้งสองพื้นที่ และขอบเขตของโหลดแต่ละพื้นที่
- 2) คำนวณและจำลองการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอและแบบพีชชีลอจิก
- 3) เปรียบเทียบผลการจำลองระบบทั้งแบบยังไม่มีตัวควบคุมกับแบบที่ใช้พีไอเป็นตัวควบคุมและแบบที่ใช้พีชชีลอจิกเป็นตัวควบคุม
- 4) แสดงผลเปรียบเทียบทั้งค่าของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวและค่าลูกลื่นสูงสุด ทั้งสามแบบที่ใช้เป็นตัวควบคุมและเพื่อให้เห็นความแตกต่างของค่าที่ได้ในการใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ



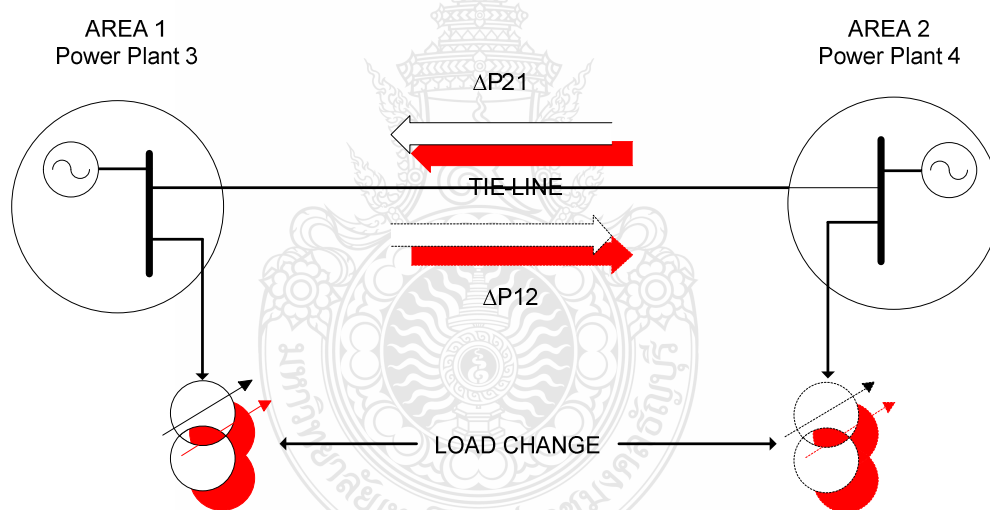
ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

จากภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานโปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพการควบคุมความถี่ – โหลด ในระบบ ในกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาเสถียรภาพการควบคุมความถี่ - โหลด เชื่อมโยงไฟฟ้าของระบบแบบสองพื้นที่ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์
- 2) การศึกษาเสถียรภาพการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ
- 3) การศึกษาเสถียรภาพการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก

3.2 ศึกษาเสถียรภาพการควบคุมความถี่ - โหลดของระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ คือแบบจำลองระบบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ โดยการนำข้อมูลต่างๆ ของระบบมาใช้ในการโปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อทำจำลองระบบ แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แผนภาพเส้นเดียวของแบบจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่

จากภาพที่ 3.2 แสดงแผนภาพเส้นเดียวของแบบจำลองระบบการเชื่อมระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ โดยระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่นี้ จำลองจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ 3 จ่ายโหลดอยู่ในเขตพื้นที่ 1 และ โรงไฟฟ้าที่ 4 จ่ายโหลดอยู่ในเขตพื้นที่ 2 จะมีกำลังไฟฟ้ารวมที่จ่ายขนาด 47.55 เมกกะวัตต์ วิทยานิพนธ์นี้แบบจำลองระบบให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงโหลดที่โรงไฟฟ้าที่ 3 เท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย จากหัวข้อ 2.4 และ 2.5 ในบทที่ 2 ในการ

ควบคุมความถี่ - โหลด และการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติในการเชื่อมโยงระบบกำลัง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ จากภาคผนวก ก และโปรแกรมการคำนวณวงจรการควบคุมแบบเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่จากภาคผนวก ข เพื่อเปรียบเทียบ

3.3 การศึกษาการควบคุมความถี่ – โหลดแบบไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ



ภาพที่ 3.3 โรงไฟฟ้าที่ 3



ภาพที่ 3.4 เครื่องกำเนิดของโรงไฟฟ้าที่ 3



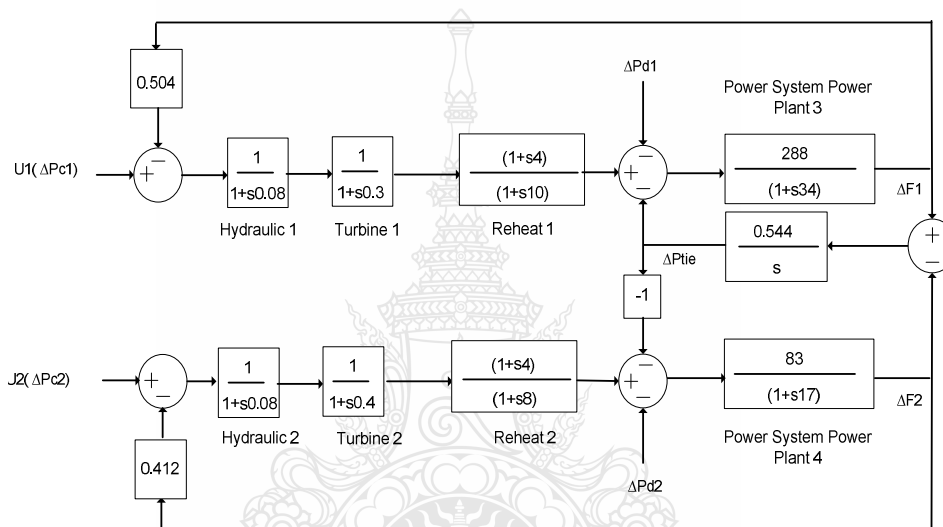
ภาพที่ 3.5 โรงไฟฟ้าที่ 4



ภาพที่ 3.6 เครื่องกำเนิดของโรงไฟฟ้าที่ 4

ขั้นแรกของการควบคุมการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ คือการทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงสมดุลเพื่อรักษาค่าความถี่ให้คงที่และทำให้พื้นที่ควบคุมแต่ละพื้นที่เป็นศูนย์ที่ Base เท่ากับ 60 เมกะวัตต์แอมป์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด (ΔP_{L1}) เท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย ที่โรงไฟฟ้า 3 ชุด ระบบปรับความเร็วของเครื่องกำเนิด เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ และ โรงไฟฟ้า 4 เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่การเปลี่ยนแปลงความถี่ในสถานะคงที่ (Δf) เท่ากับ 0.025 เฮิรตซ์ ΔP_{D1} เท่ากับ 0.0113 เมกะวัตต์ ΔP_{D2}

เท่ากับ 0.0319 เมกกะวัตต์, ΔP_{G1} เท่ากับ -0.316 เมกกะวัตต์ ΔP_{G2} เท่ากับ -0.834 เมกกะวัตต์ จะได้ค่าในพื้นที่ 1 ใหม่ คือมีโหลดเท่ากับ 10.4133 เมกกะวัตต์, ที่เครื่องกำเนิดเท่ากับ 10.084 เมกกะวัตต์ ในพื้นที่ 2 ใหม่มีโหลดเท่ากับ 35.989 เมกกะวัตต์ ที่เครื่องกำเนิดเท่ากับ 36.316 เมกกะวัตต์ และระบบการเชื่อมโยงจากพื้นที่ 2 ไปพื้นที่ 1 เท่ากับ 0.327 เมกกะวัตต์ ที่ความถี่ใหม่ 50.025 เฮิรตซ์ ซึ่งในระบบที่ยังไม่มีการออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติเพิ่มเติมจะได้ดังภาพที่ 3.7 มาใช้ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อทำการวิเคราะห์ประมวลผลแสดงค่าที่ได้ของผลตอบสนองของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวหรือค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นในการสั่นครั้งแรกหรือช่วงแรกเมื่อเทียบกับค่าคงที่



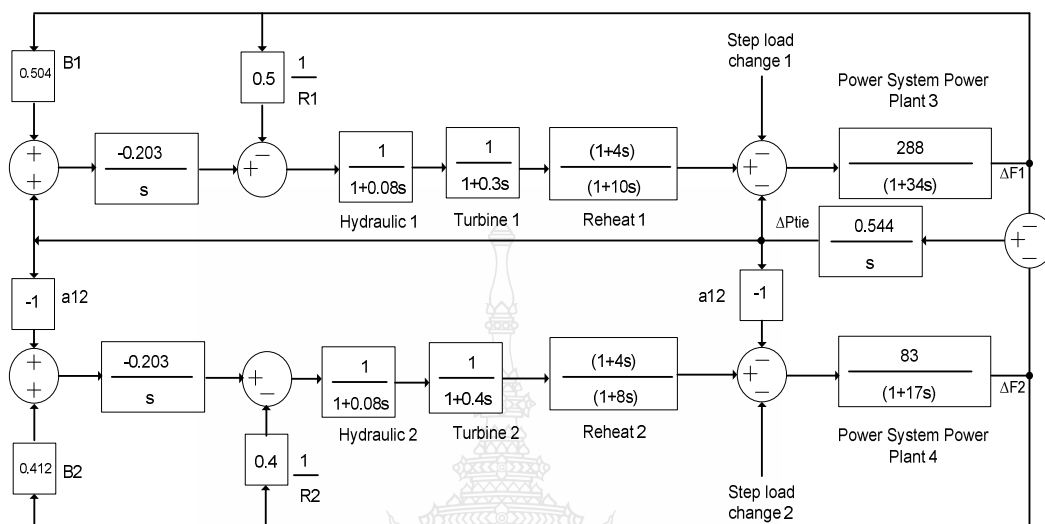
ภาพที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่

จากภาพที่ 3.7 แสดงการจำลองระบบของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโรงที่ 3 เป็นพื้นที่ 1 และโรงที่ 4 เป็นพื้นที่ 2 ที่จะใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจากการจำลอง

3.4 การศึกษาการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

ในหัวข้อนี้จะใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลดแบบพีไอ จากระบบที่ไม่ได้ใช้ตัวควบคุมแบบอัตโนมัติจากภาพที่ 3.7 โดยการเลือกใช้ตัวแปรความสัมพันธ์ของแบบอัตราส่วนกับการอินทิเกรตเพื่อจะได้ค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Index: J) โดยการใช้วิธี Integral of The Square of The Error (ISE) เนื่องด้วยวิธีนี้ค่าความผิดพลาดของฟังก์ชันยกกำลังสองของตัวอินทิเกรตนี้มีค่า

เพิ่มขึ้นตามเวลาไม่ว่าค่าความผิดพลาดจะบวกหรือลบ ทำให้ระบบจะให้ค่าน้อยมากที่อัตราการหน่วง [29] ซึ่งที่ β_1 เท่ากับ 0.5035 จะได้ค่า J เท่ากับ 0.0365 และ K_i เท่ากับ 0.203 ค่า K_p เท่ากับ 1 โดยจำลองระบบดังภาพที่ 3.8



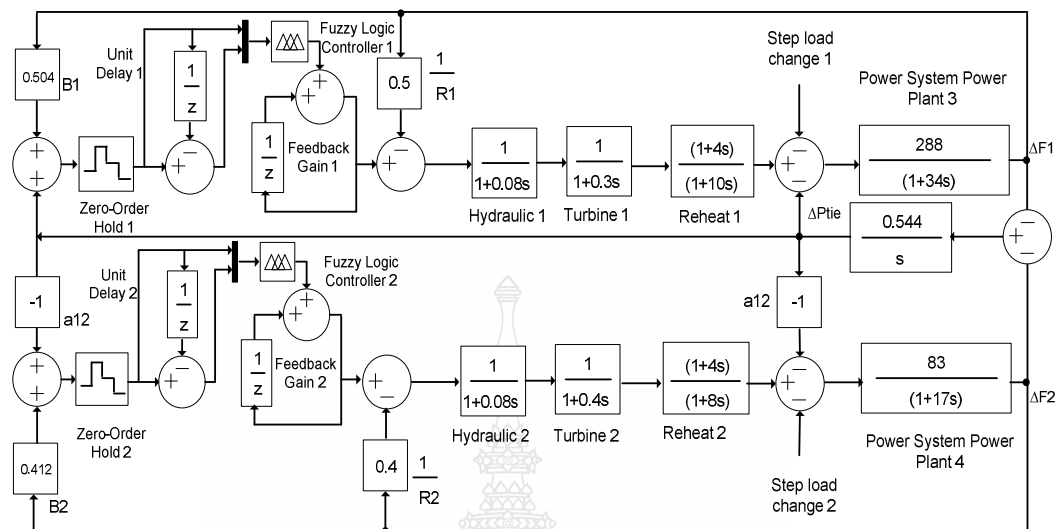
ภาพที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

จากภาพที่ 3.8 แสดงการจำลองระบบของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ที่จะใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลแบบใช้ตัวควบคุมพีไอ

3.5 การศึกษาการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ในหัวข้อนี้จะศึกษาการใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลดแบบฟัซซีลอจิก ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ประกอบไปด้วยสามขั้นตอน คือ Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงค่าตัวแปรผ่าน Membership และ Inference Engine เป็นขั้นตอนการวินิจฉัยผลลัพธ์ว่าควรอยู่ในช่วงใดได้แก่วิธี Center of Area Maximum กับขั้นตอนการทำ De-Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงตัวแปรฟัซซีกลับสู่ค่าตัวแปร โดยผ่าน Membership ของการควบคุม สำหรับการควบคุมความถี่-โหลด ของระบบโดยการสมมุติฐานผลตอบสนองค่าตัวแปรผิดพลาด (e) และความแตกต่างของข้อผิดพลาด (ce) โดยมีตารางแสดงค่าฟัซซีของการควบคุมซึ่งช่วงของค่าตัวแปรที่ผ่าน Membership Function ที่ค่า -0.6 ถึง 0.6 มีจำนวนของค่าเท่ากับ 49 (7^2) ใช้เป็นแบบฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) วิธีการอนุมานระบบกฎแบบฟัซซีของ Mamdani ใช้ตัวแปรภาษา

ทั้งในข้อตั้งและข้อตามเพื่อจัดเทียบฟังก์ชันผลรวมเอาต์พุตแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Composition) โดยจำลองระบบใช้ฟuzzyเป็นตัวควบคุมได้ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมจำลองระบบการใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิก

จากภาพที่ 3.9 แสดงการจำลองระบบของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ที่จะใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลแบบใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของโรงไฟฟ้าทั้งสองแห่ง เพื่อที่จะใช้โปรแกรมวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลสมรรถนะกับตัวควบคุมแบบอื่น

3.6 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจำลองระบบการเชื่อมโยงความถี่ - โหลด แบบสองพื้นที่ที่ทั้งชนิดที่ไม่มีการควบคุมอัตโนมัติกับการใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzyและแบบฟuzzyลอจิกของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั้งสองที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวม 47.55 เมกกะวัตต์ โดยให้มีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่โรงไฟฟ้า No.3 (ΔP_{L1}) เท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย หรือ 1.75 เมกกะวัตต์ เพื่อศึกษาตัวควบคุมเปรียบเทียบสมรรถนะต่อการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวและค่าลูกลิ้นสูงสุดเมื่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป 0.025 เฮิรตซ์ โหลดรวมใหม่ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 1 เท่ากับ 10.413 เมกกะวัตต์ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดเท่ากับ 10.084 เมกกะวัตต์ โหลดรวมใหม่ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 2 เท่ากับ 35.989 เมกกะวัตต์ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดเท่ากับ 36.316 เมกกะวัตต์ กำลังไฟฟ้าที่เชื่อมโยงจากพื้นที่ 2 ไปยังพื้นที่ 1 เท่ากับ 0.327 เมกกะวัตต์

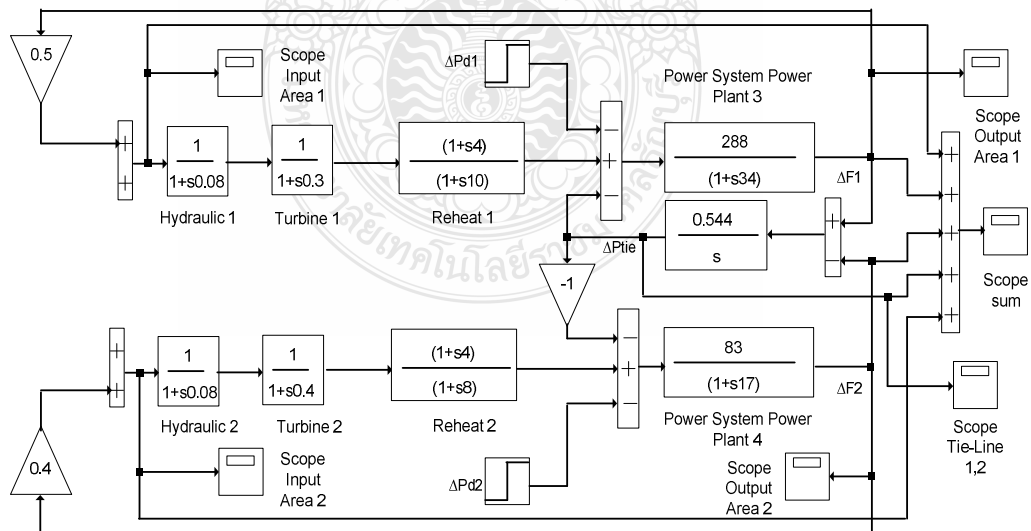
บทที่ 4

ผลการทดลอง

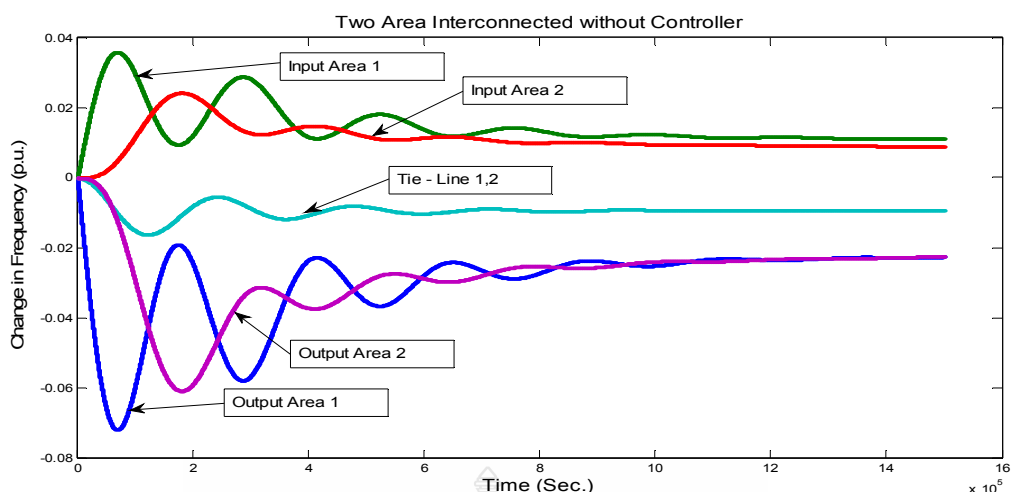
ระบบที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ระบบการควบคุมความถี่ - โหลด โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK จำลองระบบวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติในการเชื่อมโยงระบบกำลังโดยการไม่ใช้ตัวควบคุมความถี่-โหลด กับการใช้ตัวควบคุมความถี่-โหลดแบบพีไอ และแบบพีซีลอจิก เพื่อหาค่าสมรรถนะจำลองศึกษาการวิเคราะห์การควบคุมความถี่ของโหลดแบบสองพื้นที่โดยเปรียบเทียบเสถียรภาพที่ค่าผลตอบสนองของเวลาที่เข้าสู่ภาวะคงตัว หรือค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นในการสั่นครั้งแรกหรือช่วงแรกเมื่อเทียบกับค่าคงที่ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ จากภาคผนวก ก และโปรแกรมการคำนวณวงจรการควบคุมแบบเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่จากภาคผนวก ข แสดงดังภาพต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองจากที่ยังไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ

จำลองระบบการควบคุมความถี่ - โหลด แบบที่ยังไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่ - โหลด แบบที่ยังไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ

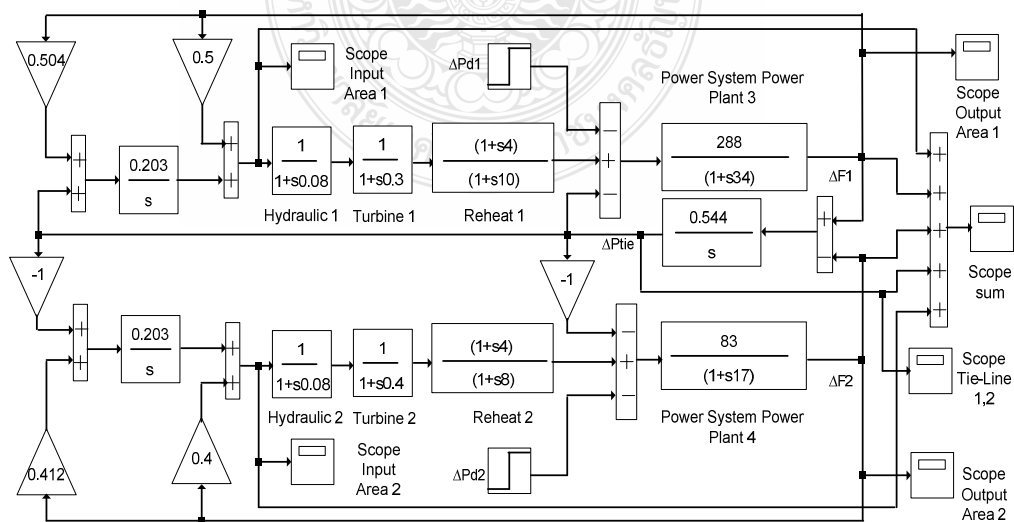


ภาพที่ 4.2 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ

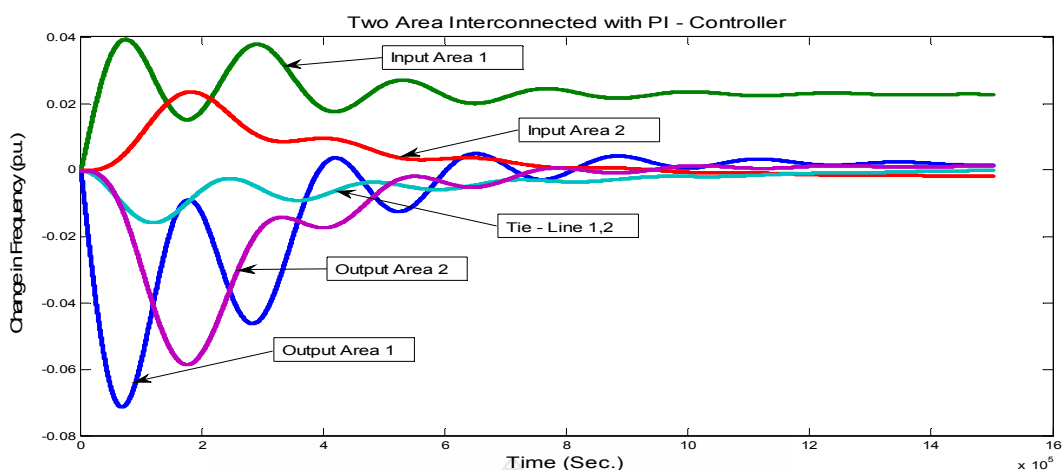
ผลการจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่โดยที่ยังไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ โดยรวมค่าสัญญาณที่ได้ทั้งทางด้านอินพุตด้านการเชื่อมโยงของพื้นที่และทางด้านเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 4.2

4.2 ผลการทดลองจากที่ใช้มีตัวควบคุมแบบพีไอ

จำลองระบบการควบคุมความถี่ - โหลด แบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่ - โหลดแบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ

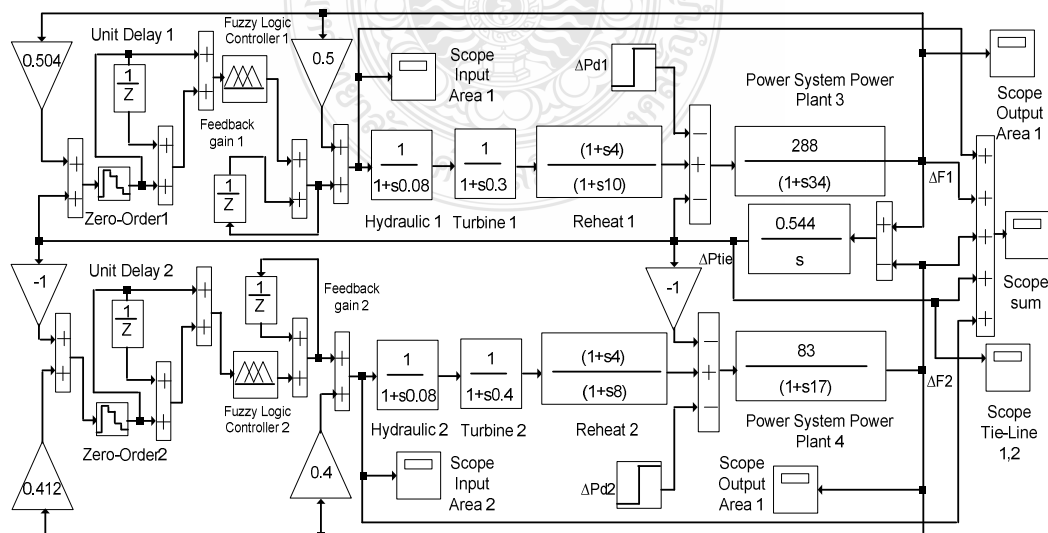


ภาพที่ 4.4 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยใช้พีไอเป็นตัวควบคุม

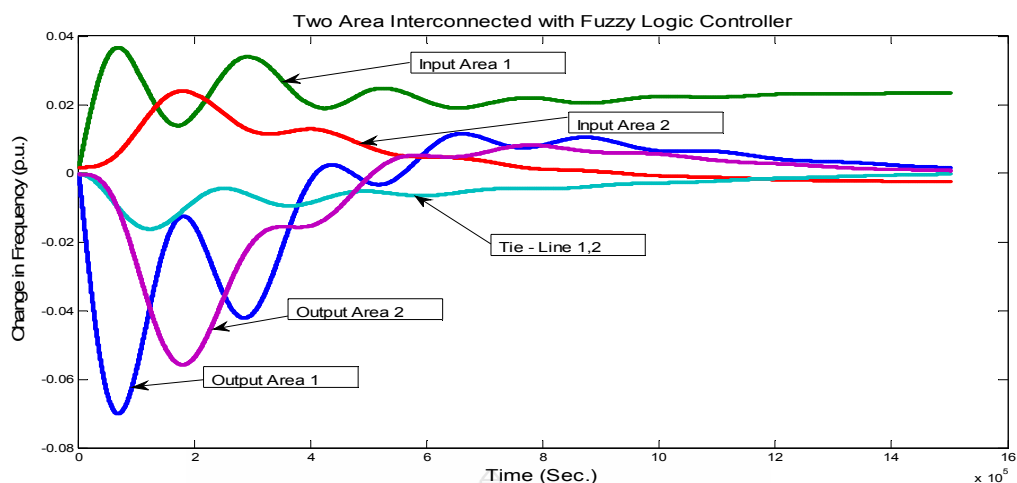
ผลการจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ที่ใช้พีไอ เป็นตัวควบคุมรวมค่าสัญญาณที่ได้ทั้งทางด้านเข้าทางด้านการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่และทางด้านออกแสดงดังภาพที่ 4.4

4.3 ผลการทดลองจากที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

จำลองระบบการควบคุมความถี่ – โหลด แบบที่ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความถี่ – โหลดแบบที่ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

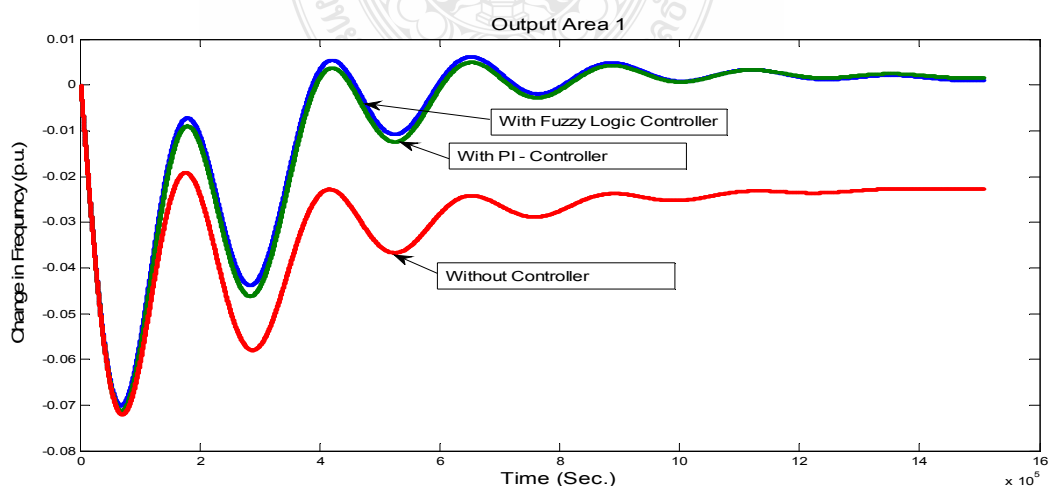


ภาพที่ 4.6 ผลจำลองการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ที่ใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุม

ผลการจำลองระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ที่ใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุมรวมค่าสัญญาณที่ได้ทั้งทางด้านเข้าด้านการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่และทางด้านออกแสดงดังภาพที่ 4.6

4.4 เปรียบเทียบและสรุปผล

จากที่ได้จำลองระบบการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทั้งแบบที่ไม่มีตัวควบคุมและแบบที่ใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุมกับแบบที่ใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุมทางด้านออกพื้นที่ 1 ได้ผลดังภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.1

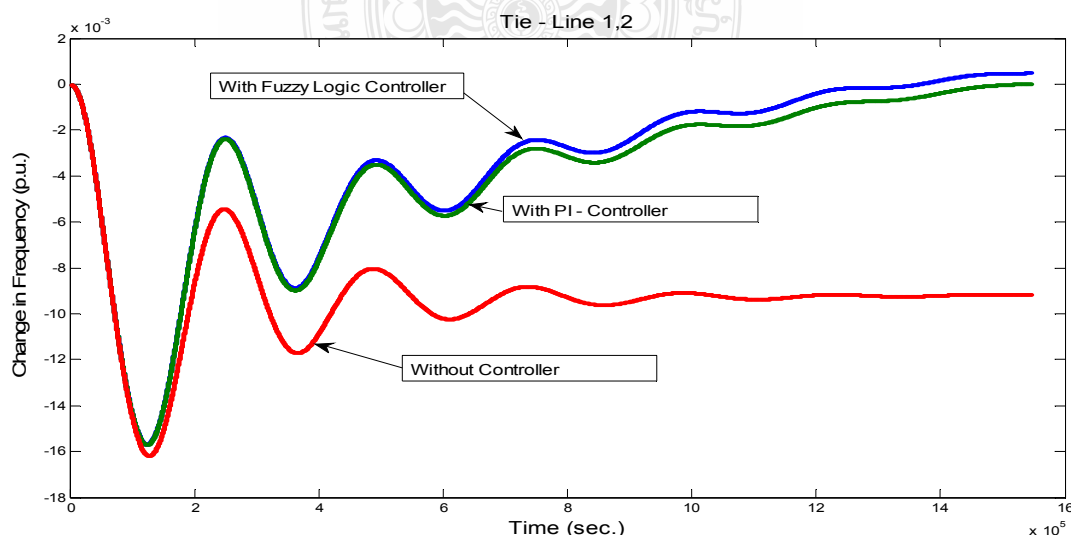


ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 1

ตารางที่ 4.1 ค่าที่ได้จากผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 1

พื้นที่ 1 (Steady State Error = 0 p.u.)	Setting Time (Sec.)	Maximum Overshoots
ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติ	3.9	0.020
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ	3.7	0.008
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก	3.6	0.006

ผลที่ได้จากการเชื่อมโยงระบบระบบไฟฟ้าทางด้านออกพื้นที่ 1 ของโรงไฟฟ้าที่ 3 ที่ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่เท่ากับศูนย์ (Steady State Error = 0) ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกันของการควบคุมทั้ง 3 ชนิด จากผลที่ได้ดังภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.1 ที่ให้โหนดทางด้านพื้นที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป 0.02 ต่อหน่วย ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สถานะคงที่เท่ากับ 3.9 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.020 และชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สถานะคงที่เท่ากับ 3.7 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.008 กับชนิดที่มีตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกซึ่งได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สถานะคงที่เท่ากับ 3.6 วินาที และค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.006 เปรียบเทียบสมรรถนะของค่าลูกคลื่นสูงสุด ได้การใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีค่าดีกว่าแบบยังไม่มีการควบคุมอัตโนมัติ 30 เปอร์เซ็นต์ และดีกว่าแบบพีไอ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนอกจากผลทางด้านออกพื้นที่ 1 แล้ว ยังได้เปรียบเทียบผลทางด้านการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่แสดงดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.2

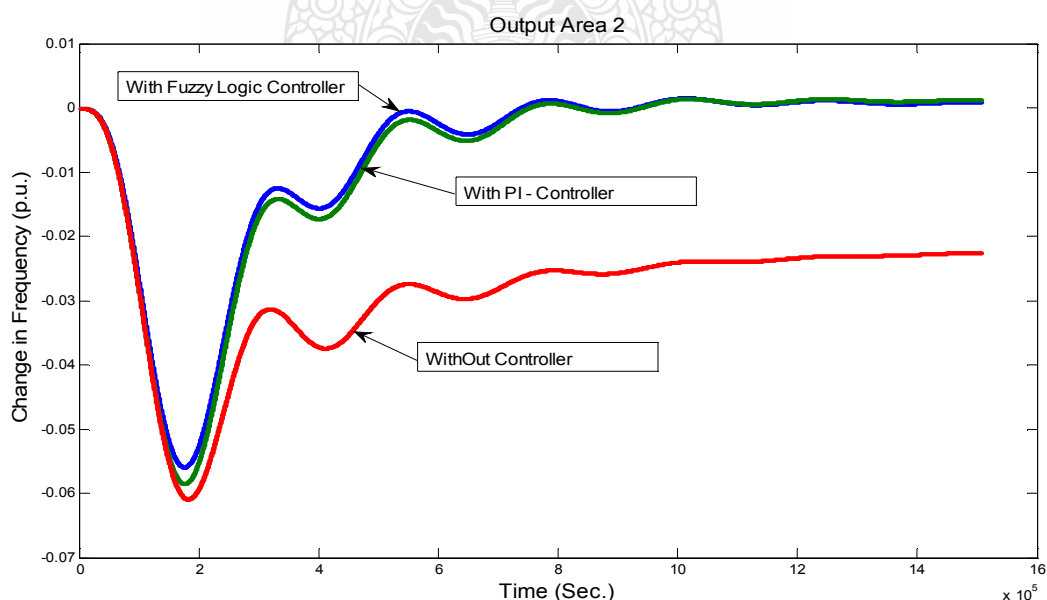


ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่

พื้นที่เชื่อมโยง 1, 2 (Steady State Error = 0 p.u.)	Setting Time (Sec.)	Maximum Overshoots
ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติ	5.8	8.0
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ	2.4	0.010
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก	1.9	0.003

จากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าทางด้านพื้นที่เชื่อมโยง 1, 2 ของโรงไฟฟ้าทั้งสองแห่งจากผลที่ได้ดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.2 ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 5.8 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -8.0 และชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ ได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 2.4 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.010 กับชนิดที่มีตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกซึ่งได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 1.9 วินาที และค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.003 เปรียบเทียบสมรรถนะของค่าลูกคลื่นสูงสุด ได้การใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีค่าดีกว่าแบบยังไม่มีการควบคุมอัตโนมัติ 29 เปอร์เซ็นต์และดีกว่าแบบพีไอ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนอกจากผลทางด้านออกพื้นที่ 1 และทางการเชื่อมโยง 1, 2 แล้วยังได้เปรียบเทียบผลทางด้านออกพื้นที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นส่วนที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพื้นที่นี้ส่งผ่านการเชื่อมโยงไปยังพื้นที่ 1 เท่ากับ 0.327 เมกกะวัตต์



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 2

ตารางที่ 4.3 ค่าที่ได้จากผลการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ทางด้านออกพื้นที่ 2

พื้นที่ 2 (Steady State Error = 0 p.u.)	Setting Time (Sec.)	Maximum Overshoots
ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติ	1.4	0.025
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ	7.5	0.006
ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีซีลอคจิก	5	0.005

จากการเชื่อมโยงระบบระบบไฟฟ้าทางด้านออกพื้นที่ 2 ของโรงไฟฟ้าที่ 4 ผลที่ได้ดังภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.3 ชนิดที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 14 วินาที ค่าลูกลิ้นสูงสุดเท่ากับ -0.025 และชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ ได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 7.5 วินาที ค่าลูกลิ้นสูงสุดเท่ากับ -0.006 กับชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีซีลอคจิกซึ่งได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 5 วินาที และค่าลูกลิ้นสูงสุดที่ได้เป็น -0.005 เปรียบเทียบสมรรถนะของค่าลูกลิ้นสูงสุดได้การใช้ตัวควบคุมพีซีลอคจิกมีค่าดีกว่าแบบยังไม่มีการควบคุมอัตโนมัติ 24 เปอร์เซ็นต์และดีกว่าแบบพีไอ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นส่วนที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพื้นที่ 2 ส่งผ่านการเชื่อมโยงไปยังพื้นที่ 1

สรุปผลจากการทดลองการเชื่อมโยงระบบกำลังไฟฟ้าแบบสองพื้นที่โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ 3 และโรงไฟฟ้าที่ 4 ของบริษัทไทยเพาเวอร์ ซับพลาย จำกัด ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า 10.4 เมกกะวัตต์ และ 37.15 เมกกะวัตต์ นั้น ที่ค่าการเปลี่ยนแปลงโหลดในพื้นที่ 1 เท่ากับ 0.02 ต่อหน่วย มีโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป 1.75 เมกกะวัตต์ ที่ความถี่เปลี่ยนแปลงไป 0.025 เฮิรตซ์ ได้มีการทดลองการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ และแบบพีซีลอคจิกเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติทำให้ลดการแกว่งของระบบลงได้มีค่าสมรรถนะของการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่และค่าลูกลิ้นสูงสุดที่ดีขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์และจำลองระบบออกแบบตัวควบคุมความถี่ - โหลดของการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีลอคจิกเปรียบเทียบกับแบบการควบคุมทั่วไปแบบไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติและตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้จำลองระบบของโรงไฟฟ้าที่ 3 และโรงไฟฟ้าที่ 4 ของบริษัทไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด เขตอุตสาหกรรมแหลมเขาอำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยการ Simulation ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบ และอาศัยข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากการจำลองระบบเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ของตัวควบคุมความถี่ แล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไปพล็อตกราฟ จากนั้นทำการวิเคราะห์แสดงค่าเปรียบเทียบของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ดำเนินการและสามารถอภิปรายสรุปผลดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ยังไม่มีการใช้ตัวควบคุมอัตโนมัติ

การควบคุมความถี่ - โหลด แบบสองพื้นที่ที่ไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัตินั้นการควบคุมข้อผิดพลาดความถี่ของระบบให้เป็นศูนย์และรักษาค่าความถี่ของระบบให้คงที่รวมถึงรักษาค่าคงที่การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าในเครือข่ายให้เท่ากันโดยการปรับความเร็วของชุดควบคุมโกเวอร์เนอร์ ซึ่งถ้าหากมีการแกว่งของระบบหรือมีการเปลี่ยนแปลงโหลดพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งอย่างรุนแรงการใช้ชุดควบคุมโกเวอร์เนอร์ยังไม่สามารถลดการแกว่งของความถี่ลงมาได้อย่างรวดเร็วเท่าที่ควรส่งผลเสียต่อเสถียรภาพโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง จากการจำลองระบบโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั้งสองแห่งระบบที่ไม่มีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าผลตอบสนองเวลาที่เข้าสู่ภาวะคงตัวของพื้นที่ 1 กับการเชื่อมโยงและพื้นที่ 2 เป็น 3.9, 5.8 และ 14 วินาที ตามลำดับ และค่าลูกคลื่นสูงสุดเป็น -0.020, -8.0 และ -0.025

5.1.2 การควบคุมความถี่ - โหลดของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

การควบคุมความถี่ - โหลด แบบสองพื้นที่ที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ การควบคุมที่นิยมใช้มากอีกชนิดโดยใช้วิธีหาค่าสมรรถนะของตัวควบคุมเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแบบพีไอ ซึ่งเป็นการหาสมรรถนะของระบบสามารถที่จะทำให้ระบบกลับเข้าสู่ภาวะเสถียรกว่าแบบที่ไม่

มีตัวควบคุมอัตโนมัติ ทั้งนี้จากการจำลองระบบเปรียบเทียบกันทั้งทางด้านออกพื้นที่ 1 ทางด้านการเชื่อมโยงของพื้นที่ 1, 2 และทางด้านออกพื้นที่ 2 โดยให้โหลดทางด้านพื้นที่ 1 ได้มีการเปลี่ยนแปลงไป 0.02 ต่อหน่วย มีค่าการเปลี่ยนแปลง 1.75 เมกกะวัตต์ ทำให้ความถี่มีการเปลี่ยนแปลง 0.025 เฮิรตซ์ ที่พื้นที่ 1 ชนิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ ได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 3.7 วินาที ค่า ลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.008 และทางด้านการเชื่อมโยงพื้นที่ 1, 2 ได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 2.4 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.010 กับพื้นที่ 2 ได้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 7.5 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.006 เปรียบเทียบกับแบบไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติมีค่าสมรรถนะที่ดีกว่าและให้ค่าผลตอบสนองเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวที่น้อยกว่า

5.1.3 การควบคุมความถี่ - โหลดของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ฟิชชิลอจิก

การใช้ตัวควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบการเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่โดยที่ออกแบบให้มีสมรรถนะในการควบคุมความถี่และมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบที่ไม่ใช้ตัวควบคุมอัตโนมัติแบบตัวควบคุมแบบพีไอ จึงได้นำตัวควบคุมแบบฟิชชิลอจิกมาใช้ ทั้งนี้ฟิชชิลอจิกมีคุณสมบัติเป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง สามารถรองรับอินพุตที่มีความคลุมเครือได้หลากหลาย ประมวลผลด้วยกฎหรือนิยามผู้สร้างระบบ ไม่มีข้อจำกัดจำนวนอินพุตหรือเอาต์พุตทำให้การออกแบบระบบทำได้หลากหลาย สามารถใช้กับงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ การใช้ตัวควบคุมแบบฟิชชิลอจิกเปรียบเทียบผลกับแบบไม่มีการควบคุมอัตโนมัติและแบบพีไอ ในการจำลองระบบนี้ค่าการหน่วงของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่และค่าลูกคลื่นสูงสุดที่ได้ในพื้นที่ 1 ได้ค่าเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่ 3.6 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุด -0.006 เปรียบเทียบกับแบบไม่มีตัวควบคุมและแบบพีไอ เป็นตัวควบคุมแล้วมีค่าสมรรถนะที่ดีกว่าร้อยละ 30 และร้อยละ 10 และทางด้านการเชื่อมโยงพื้นที่ 1, 2 ได้ค่าของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 1.9 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุดเท่ากับ -0.003 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีการควบคุมอัตโนมัติและแบบพีไอแล้วค่าสมรรถนะที่ดีกว่าร้อยละ 29 และร้อยละ 5 ตามลำดับ กับพื้นที่ 2 ได้ค่าของเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่ 5 วินาที ค่าลูกคลื่นสูงสุด -0.005 เปรียบเทียบแล้วมีค่าสมรรถนะที่ดีกว่าร้อยละ 24 และร้อยละ 1 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้ฟิชชิลอจิกเป็นตัวควบคุมจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นวิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล ผลลัพธ์จากการจำลองตัวควบคุมที่คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีสมรรถนะและมีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่เปลี่ยนแปลงหรือแกว่งไปซึ่งการใช้ฟิชชิลอจิกเป็นตัวควบคุมจะให้ผลตอบสนองทางด้านเวลาที่รวดเร็วยิ่งขึ้นและสมรรถนะต่อการหน่วงที่ดีกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลตอบสนองทางด้านเวลาผลตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุดค่าความผิดพลาดผลตอบสนองที่สถานะคงตัวเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้การควบคุมแบบไม่มีตัวควบคุมอัตโนมัติและแบบพีไอเป็นตัวควบคุมกับแบบฟัซซีลอจิกในพื้นที่การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ได้เปรียบเทียบให้เห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก มีค่าสมรรถนะผลตอบสนองทางด้านเวลาที่เข้าสู่สถานะคงที่และค่า ลูกคลื่นสูงสุดให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าทำให้ระบบมีคุณภาพการจ่ายที่ดีและความน่าเชื่อถือมากขึ้นจะส่งผลดีต่อคุณภาพของการจ่ายและความน่าเชื่อถือของระบบมากกว่า

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเฉพาะการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่และใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกกับแบบพีไอ และแบบที่ไม่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติเปรียบเทียบกันเท่านั้นเพื่อหาสมรรถนะความเหมาะสมในระบบ ซึ่งสามารถนำไปศึกษาพัฒนาและประยุกต์กับวิธีการและการใช้ตัวควบคุมแบบอื่นๆ ได้ต่อไป



รายการอ้างอิง

- [1] จักรินทร์ วิเศษยา , และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์, “การศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โปรแกรม PSAT”, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี , 2553, pp. 1-5.
- [2] H. Saadat, “**Power System Analysis**”, Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc, 2002.
- [3] Muthana T.Alrifai, Mohamed Zribi “**Decentralized Controllers for Power System Load Frequency Control**” ASCE Journal, Volume (5), Issue (II), June, 2005.
- [4] Dipesh M Patel, Mr. Ravindrakumar Yadav, Dipesh B Trivedi “**Automatic Power Generation Control and Simulation,**” Lecturer, Department of Electrical Engineering, Badaria Institute of Technology, Varnama, Vadodara.
- [5] 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.
- [6] Ghazanfar Shahgholion, Serareh Yazdekhesti, Pegah Shafaghi, “**Dynamic Analysis and Stability of the Load Frequency Control in Two Area Power System with Stream Turbine,**” IEEE 2009 DOI 10.1 109/ICCEE.2009.95.
- [7] Ismail H.Altas, Jelle Neyens. “**A Fuzzy Logic Load Frequency Controller for Power System,**” International Symposium on Mathematical Methods in Engineering, MME-06, Cankaya University Ankara, Turkey, April 27-29, 2006.
- [8] Angelina Borges de Rezende Costa, Ana Claudia Marques do Valle, Adeleo Jose de Moraes, Haroldo R. de Azevedo, “**A Simple Fuzzy Excitation Control System (AVR) in Power System Stability Analysis,**” Federal University of Uberlandia – Electrical Engineering Faculty, abrcosta@hotmail.com.
- [9] 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.

- [10] Lokman H.Hassan, M.Moghavvemi, Haider A.F. Mohamed. **“Takagi-Sugeno Fuzzy Gains Scheduled PI Controller for Enhancement of Power System Stability,”** American Journal of Applied Sciences 7 (1): 145-152, 2010.
- [11] 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.
- [12] Jawad Talaq,Fadel Al-Basri, **“Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control,”** IEEE Transaction on Power Systems,Vol.14, No1 Feb.1999.
- [13] B.Anand, Member, IEEE,and A.Ebenezer Jeyakumar, **“Load Frequency Control of Hydro-Thermal System with Fuzzy Logic Controller Considering Boiler Dynamics,”** IEEE 2009.
- [14] Lokman H.Hassan, F.Mohamed, M.Moghavvemi, S.S.Yang. **“Load Frequency Control of Power System with Sugeno Fuzzy Gain scheduling PID controller,”** IEEE 2009.ICROS-SICE International Joint Conference 2009.
- [15] Ilham Kocaarslan, Ertugrul Cam, **“Fuzzy Logic Controller in Interconnected Electrical Power Systems for Load Frequency Control,”** Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kirikkale University, Yahsihan, Kirikkale 71450, Turkey. Energy Conversion and Management 27 (2005) 542-549.
- [16] Ilham Kocaarslan, Ertugrul Cam, Hasan Tiryaki, **“A Fuzzy Logic Controller application for thermal power plants,”** Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kirikkale University, Yahsihan, Kirikkale 71450,Turkey. Energy Conversion and Management 47 (2006) 442-448.
- [17] Ertugrul Cam, **“Application of Fuzzy Logic for Load Frequency Control of Hydro Electrical Power Plant,”** Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kirikkale University, Yahsihan, Kirikkale 71450, Turkey. Energy Conversion and Management 48 (2007) 1281-1288.
- [18] วีรยุทธ ไชยธรรม,อิสระชัย งามหรุ,ศราวุธ โพธิยา, **“การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิก-พีไอที่ดีที่สุดที่เหมาะสมด้วยวิธีฝูงผึ้งเพื่อควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริดม”** The 31th Electrical Engineering Conference (EECON-31, PW-19).

- [19] Surya Prakash, Sunil Kumar Sinha, Ajay shekhar Pandey, Brijesh Singh. **“Impact of Slider Gain on Load Frequency Control using Fuzzy Logic Controller,”** ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol.4 No.7 Sep.2009.
- [20] K.A.El.Metwally. **“An Adaptive Fuzzy Logic controller for a Two Area load Frequency Control Problem,”** 978-1-4244-1933-3/08.2008 IEEE.
- [21] B.Venkata Prasanth, Dr.S.V. Jayaram Kumar. **“Robust Fuzzy Load Frequency Controller for A Two Area Interconnected Power System,”** JATIT Journal of Theoretical and Applied Information Technology.2005-2009.
- [22] Jan Jantzen. **“Tuning of Fuzzy PID Controllers,”** Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg. 326, DK-2800 Lyngby, Denmark. Tech. report no. 98-H 871 (fpid), 30 sep.1998
- [23] Saleh Aboreshaid, Sherif O. Faried. **“Teaching Power System Dynamics and Control Using SIMULINK,”** Journal King Saud University Vol.12, Engineering Sciences (1), pp. 139-152 (A.H. 1420/2000)
- [24] โตศักดิ์ ทัศนานุกริยะ, **“การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง,”** บทที่ 9 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง: กรุงเทพฯ ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2540
- [25] P. Kundur, **“Power System Stability and Control,”** Part II Equipment Characteristics and Modelling, Chapter 11, New York: McGraw-Hill, 1994. pp. 581-610.
- [26] H. Saadat, **“Power System Analysis,”** Chapter 11, Chapter 12, Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc, 2002.
- [27] พยุง มีสัง **“ฟuzzy ลอจิก,”** คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, <http://suanplum3kmitnb.ac.th/teacher/phayung/pno=1>: เอกสารประกอบการเรียนการสอน, 2550
- [28] อาทิตย์ ศรีแก้ว **“ปัญญาเชิงคำนวณ,”** บทที่ 18 Fuzzy Logic Matlab/Simulation สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552
- [29] วิชัย สังข์จันทรานนท์ **“วิศวกรรมระบบควบคุม (เชิงเส้น),”** บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2521

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลต่างๆ



ก 1. ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบการควบคุมความถี่ – โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่

ในการจำลองการควบคุมความถี่-โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมการจำลองระบบของ Matlab ซึ่งระบบที่จำลองขึ้นนี้ประกอบด้วยระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนเชื่อมโยงสองพื้นที่โดยเลือกใช้การเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบทันทีทันใด (Step Load)

ตารางที่ ก .1 ค่าพารามิเตอร์โรงไฟฟ้าที่ 3

Power Plant 3		
Output	1300	KVA
Power factor	0.80	
Voltage	3300	V
Frequency	50	Hz
Load Frequency	20	%
Speed	1500	r/min
Speed Regulation	4	%
Current	2274	A
Hydraulic Valve Actuator Time Constant	0.08	Sec.
Reheat Time Constant	10	Sec.
Inertia Constant	4	Sec.
Steam Turbine Time Constant	0.3	Sec.
Applicable Standards	IEC 34-1	
Insulation Class	F	
Temperature rise, Stator & Rotor within Class	B	
Boiler	50	Ton

ตารางที่ ก.2 ค่าพารามิเตอร์โรงไฟฟ้าที่ 4

Power Plant 4		
Output	43600	KVA
Power factor	0.85	
Voltage	1100	V
Frequency	50	Hz
Load Frequency	17	%
Speed	1500	r/min
Speed Regulation	5	%
Current	2288	A
Hydraulic Valve Actuator Time Constant	0.08	Sec.
Reheat Time Constant	8	Sec.
Inertia Constant	5	Sec.
Steam Turbine Time Constant	0.4	Sec.
Applicable Standards	IEC 34-T7/VDE 0530	
Insulation Class	F	
Temperature rise, Stator & Rotor within Class	B	
Boiler	198	Ton

ก.2 ข้อมูลต่าง ๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอ

ในการวัดสมรรถนะของระบบ(Performance Index, J) ซึ่งเน้นหนักถึงคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic) และ การตอบสนอง (response) ทั้งค่าผิดพลาดและเวลาต่างเป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญ โดย ใช้วิธี Integral of the square of the error (ISE) เพื่อหาค่าจะได้

$$J = \int_0^t (\Delta F_1^2 + \Delta F_2^2 + \Delta P_{tie}^2) dt \quad (ก.1)$$

เมื่อ

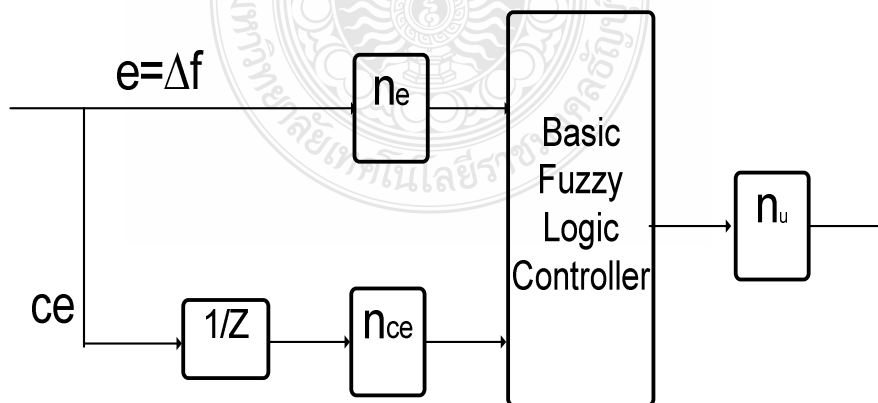
ΔF = การเปลี่ยนแปลงความถี่

ΔP_{tie} = การเปลี่ยนแปลงกำลังของการเชื่อมโยง

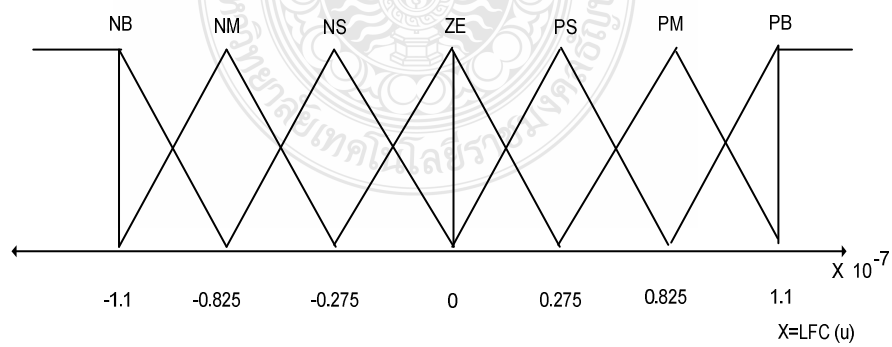
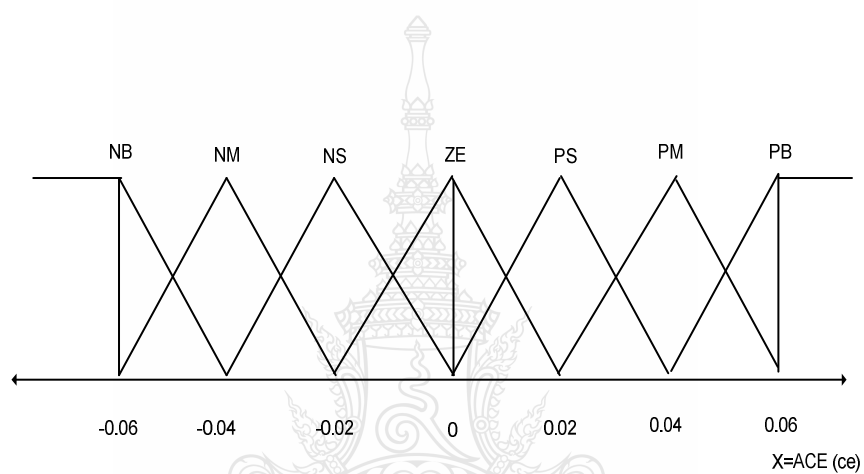
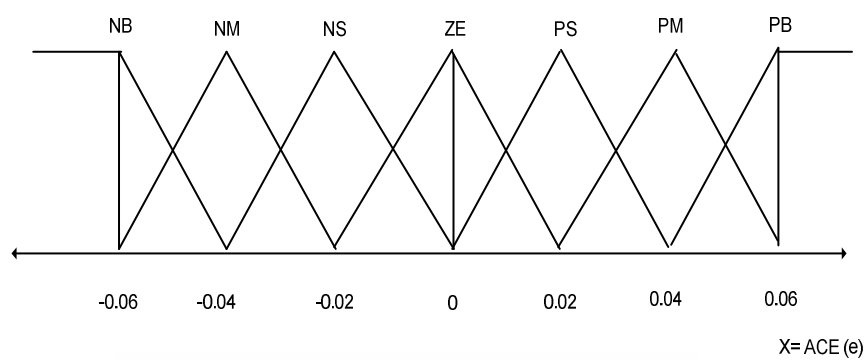
ที่ $J = 0.0935$ จะได้ค่า $k_p = 1$ ค่า $k_i = 0.203$, จาก $k(s) = k_p + (k_i/s)$

ก.3 ข้อมูลต่าง ๆ ของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

จากภาพที่ ก.1 แสดงรูปบล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมแบบฟัซซีลอจิกที่ใช้ในการจำลองระบบ ในวิทยานิพนธ์นี้



ภาพที่ ก.1 รูปบล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมแบบฟัซซีลอจิก



ภาพที่ ก. 2 ฟังก์ชันสมาชิกของการควบคุม

In put	e(k)							
ce(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

ภาพที่ ก.3 แสดงค่าไฟซซีของการควบคุม



ภาคผนวก ข

โปรแกรมการคำนวณการเชื่อมโยงระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ด้วย
MATLAB/SIMULINK



1.) วงจรการควบคุมแบบเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่

ในการศึกษาและพิจารณาระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ที่ประกอบไปด้วยการเชื่อมโยง ซึ่งเป็นการควบคุมเครื่องกำเนิดแบบอัตโนมัติดังสมการ

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

เมื่อ

A คือ ค่าคงที่เมทริกซ์, B และ Γ คือ ค่าคงที่ของเมทริกซ์ด้านเข้า,

$$\begin{aligned} x(t) &= [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_7]^T \\ &= [\Delta f_1 \ \Delta f_2 \ \Delta p_{g1} \ \Delta p_{g2} \ \Delta X_{E1} \ \Delta X_{E2} \ \Delta P_{ie}]^T \end{aligned} \quad (\text{ข.2})$$

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_{ie} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ ขั้นแรกของการควบคุมการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ คือการทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงสมดุลเพื่อรักษาค่าความถี่ให้คงที่และทำให้พื้นที่ควบคุม แต่ละพื้นที่เป็นศูนย์ตามสมการ

$$u(t) = [\Delta P_{c1} \ \Delta P_{c2}]^T \quad (\text{ข.3})$$

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

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

เมื่อ B_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ป้อนกลับของพื้นที่ $\Delta P_{ie,ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ และมีบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งแบบไม่มีการควบคุมและมีการควบคุม

2.) วงจรการควบคุมแบบตัวควบคุมพีไอ

ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบอินทิเกรต (Proportional Integral Controller) ดังสมการควบคุม

$$U_i = -K_i \int_0^t (ACE)_i dt = K_i \int_0^t (\Delta P_{ie} + b_i f_i) dt \quad (\text{ข.6})$$

3.) วงจรการควบคุมแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy Logic Controller) ประกอบไปด้วยสามขั้นตอน คือ

- 1). Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงค่าตัวแปรผ่าน Membership .
- 2). Inference Engine เป็นขั้นตอนการวินิจฉัยผลลัพธ์ว่าจะอยู่ในช่วงใดได้แก่วิธี Center of Area, Maximum
- 3). De-Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงตัวแปรฟัซซี่กลับสู่ค่าตัวแปร โดยผ่าน Membership

สำหรับการควบคุมความถี่-โหลดโดยการสมมุติฐานผลตอบสนองค่าตัวแปรผิดพลาด(e) และความแตกต่างของข้อผิดพลาด(ce) ดังสมการควบคุม

$$\Delta P_c = F [n_e e(k), n_{ce} ce(k)] \quad (\text{ข.7})$$

เมื่อค่าตัวแปรผิดพลาดเท่ากับค่าเบี่ยงเบนความถี่(Δf) กำลังไฟฟ้าจริงของระบบ คือ ความแตกต่างระหว่างความถี่กำลังไฟฟ้าจริงของระบบ (f) และ แผนกำหนดการของความถี่กำลังไฟฟ้า (fm) โดยให้ n_e และ n_{ce} เป็นค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงอัตราห้วงความผิดพลาดตามลำดับ และฟัซซี่ฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น(F) การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกคือการอาศัยอัตราห้วงทางด้านเข้าดังรูปที่ 5 และอัตราห้วงทางด้านออกที่ควบคุมคือ n_u และ Z เป็นค่าอันดับสูงสุดของ Membership ในตารางให้ชุดการเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุม e(k) และ ce(k) ดังนี้

$$L(e, ce) = \{NB, NM, NS, ZE, PM, PS, PB\} \quad (\text{ข.8})$$

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

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



Electrical Engineering Network 2012

of Rajamangala University of Technology (EENET 2012)



CONFERENCE TOPICS

GROUP 1 (PE)

Power Electronics, Electric Machines, Motor Control and Drive, Measurement, Control and Robotics.

GROUP 2 (PW)

Power System, Transmission and Distribution, High Voltage and Electrical Energy, Generating Systems.

GROUP 3 (RE)

Renewable Energy, Energy Saving Technologies, Industry Specific Energy Conversion and Conditioning Technologies, Materials for Energy and Environment.

GROUP 4 (TE)

Telecommunication, Electronics, Information and Communication Technologies, Antennas, Microwave Theory and Techniques.

GROUP 5 (CP)

Computer Technologies and Network, Computer Graphics, Machine Learning and Human-Computer Interaction.

GROUP 6 (GN)

Education in Electrical Engineering, Simulation Software and Design tools, Related Topics in Electrical Engineering.



GRAND PARADISE HOTEL
Nong Khai, THAILAND
April 3-5, 2012

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

คณะกรรมการเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอบารโพรจน์	ประธานกรรมการ
นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	กรรมการ
ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	กรรมการ
นายประหยัด กองสุข	กรรมการ
ดร.นิธิโชติ รักไทยเจริญชีพ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณยวัฒน์	กรรมการ
ดร.อุเทน คำน่าน	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ พงศ์พฤษชาติ	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช เกิดชื่น	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี รัชวีกุล	กรรมการ
ดร.สุรียา แก้วอาษา	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	กรรมการและเลขานุการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

รายชื่อผู้พิจารณาบทความการประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4

รศ. ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน	
รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ	
รศ. ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์	
รศ. ดร. เวทิน ปิยะรัตน์	
รศ. ดร. เฉชา พวงดาวเรือง	
รศ. ดร. วิบูลย์ ชื่นแขก	
รศ. ดร. เสถียร ชาญศรีรัตน์	
ผศ. ดร. แนบบุญ หุนเจริญ	
ผศ. ดร. อภินันท์ อูรโสภณ	
ผศ. ดร. วรวัฒน์ เสี่ยงวิบูล	
ผศ. ดร. อาทิตย์ ไสครโยม	
ผศ. ดร. เผด็จ เผ่าละออ	
ผศ. ดร. กองพล อารีรักษ์	
ดร. ยุทธนา จำสุวรรณ์	
ดร. นิวัฒน์ อังควิชิตพันธ์	
รศ. ดร. โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
ดร. อุเทน คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
นายณรงค์ นันทกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
ผศ. กลยุฑา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
นายเอกทัศน์ พฤษวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
ดร. จิตตฤทธิ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
ผศ. ชาญชัย เศรษฐธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่
ดร. จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายสมนึก เครือสอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายทัศนะ อมทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
ผศ. อภิศักดิ์ ชันแก้วหล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ศส.สุรสิทธิ์ แสนทอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายเอกกฤษณ์ สุนนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายปรีชา มหาไม้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายก่อเกียรติ อีอดทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
รศ.ดร.ชวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ดร.พินิจ ศรีธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ศส.ประเสริฐ เพื่อนหมื่น ไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ศส.พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ศส.สุธาธินันท์ ต้นโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ศส.ศิริชัย ลาภาสระน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ศส.กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ศส.วุฒิชัย ส่งงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายกิตติวุฒิ จินนบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายรุ่งเพชร ก่องนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายเอกจิต คุ้มวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นางอุษา กองเมือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายชิตีสรณ์ วิจิโต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายบุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.กรุงเทพฯ
นายวุฒิวินน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.กรุงเทพฯ
นายชูศักดิ์กู กมลขันดิสร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.กรุงเทพฯ
นายวินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.กรุงเทพฯ
นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.กรุงเทพฯ
นายประยัด กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายสมพล โคศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายทัศนัย สุวรรณทัต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายจตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายพูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.นัฐโชติ รักรไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายนิติพันธ์ คุณประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายชนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายสุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายทอง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายสมเกียรติ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศส.พิชญ์ ดาราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายมนัส บุญเพียรทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายพนา คูสีดากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศส.กิจจา ถักยณ์อำนวยการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศส.โกศล นิธิโสภာ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศส.จรินทร์ จุลวานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายนิลमित นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายเกรียงไกร เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายวัฒนพันธ์ วิยวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายฉันทูวัชรินทร์ ทองรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศส.ศรีศักดิ์ น้อยไร่ภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศส.ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
นางสาวพัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศส.สรายุช ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศส.วารุณี ศรีสงคราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ดร.บุษนา กั้นทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศส.เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศส.กระจ่าง พิทักษ์วงศวิทยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ดร.ศรีสุดา ไชยทองสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
รศ.นภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
รศ.สมพันธ์ อำพวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
ดร.ชูวงศ์ วัฒนศักดิ์ภูบาล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
ศส.วิสุทธิ์ พงศ์พิถกษธาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
ดร.สุริยา แก้วอวยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ดร.เมธา ทัศคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผศ.วิชัย ครอบกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายเอกวิทย์ หายแก้วษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายวีระ ฐานยาภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายรัก สกุดพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายนครินทร์ ศรีปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายกฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายจงเจริญ คุ้มบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายกฤษฏา บุญมีวิเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายจิระพงษ์ ศรีวิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายวีระชัย จรบูรมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นายปฏิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
นายเจสสิว เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
ผศ.ดร.ปรีชา สาकरังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
ดร.ภักดิ์วัฒน์ จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
นายไพบูลย์ เกียรติสุขกมลธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
รศ.พันธ์ พิริยววรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.ประวิช เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวังกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.ประยงค์ เสาร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.จักรวัฒน์ บุตรบุญชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ดร.สุระ ตันดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ดร.ณรงค์ สีหาจ้อง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.ดร.สมชัย หิรัญวโรคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.วิชัย ผลุงศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ศิริชัย แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ณัฐวุฒิ ไส้มะเกษตรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.ฉัตรชัย	ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุรินทร์	แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภักดีพชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพีนิจ	จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายสมชาย	เปียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพร้อมศักดิ์	คือภริติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายนิติพงษ์	ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายธีระพล	เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายณัฐพล	หาอุปละ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.จินตนา	นาคะสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.ปราชญ์	ดาบั้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองอำนาจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ไพฑูรย์	รักเหลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายวิโรจน์	พิราจเนนชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพงษ์ศักดิ์	อำภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายบุญยิ่ง	นมนอบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายอภิรดา	นามแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุทินัน	พรอนุรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.วินัย	วิชัยพาณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กิตติวัฒน์	นัมเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.อิฐอรัญ	ปีติมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายฉัตรดิพงษ์	อุทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

PW16	Optimal Reactive Power Control in Power System with Particle Swarm Optimization	212
PW17	การศึกษาและเปรียบเทียบการลดการใช้ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ ด้วยอัตราซื้อระบบ TOD และ TOU	216
PW18	การศึกษาเสถียรภาพแรงดันของระบบ IEEE 6 BUS เชื่อมกับกังหันลม	220
PW19	การออกแบบอัลกอริธึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดของระบบจำหน่าย 22 kV	224
PW20	การระบุตำแหน่งจุดลัดวงจรของสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	229
PW21	การเปรียบเทียบการลดความชื้นในอากาศระหว่างสนามไฟฟ้ากับขดลวดความร้อน	233
PW22	การเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้าและประสิทธิภาพของหลอดประหยัดพลังงาน	237
PW23	การศึกษาผลของอุณหภูมิและบัลลาสต์ที่มีต่ออายุการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	241
PW24	การวางแผนเพื่อยกระดับเสถียรภาพแรงดันสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี	245
PW25	การควบคุมความถี่-โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีซีซีลอจิก	249
PW26	การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟในย่านพลวัตด้วย SVC	253
PW27	การติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยค่าที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย 33 บัส แบบเรเดียลด้วยโปรแกรม PSO	257
PW28	การเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะด้วยสแตตคอม	261
PW29	การควบคุมวงจรแปลงผันดิซีเป็นดิซีด้วยสมการสถานะ	265
PW30	ตู้แม่เหล็กกันต้อพลังงานแสงอาทิตย์	269
PW31	การวิเคราะห์การกักความร้อนของแท่งกรวดกัลสับมะเฟืองเนื่องจากสภาพดินและฟ้าผ่าในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคกลาง	273
PW32	มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับของผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมโรงสีข้าว	277
PW33	ตรวจจับแรงดันตกโดยวิธีการหาค่ายอด	281

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

การควบคุมความถี่-โหลดของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

Load-Frequency Control of Interconnected Power System by Using Fuzzy Logic Controller

สวัสดิ์ ยุกะ ตั้ง และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์

ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02-549-3571 โทรสาร: 02-549-3422 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความถี่ - โหลด ของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ซึ่งปัจจุบันตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในเกือบทุกระบบของการควบคุม ทั้งทางการทหาร , ทางการธุรกิจอุตสาหกรรม , ทางการแพทย์ รวมถึงงานวิศวกรรม และเนื่องจากพฤติกรรมของความถี่ของโหลดระบบไฟฟ้าทั้งที่ไม่มีหรือมีการควบคุมแบบ PI - Controller ยังมีความต้องการให้เสถียรภาพของการควบคุมความถี่ของโหลดระบบไฟฟ้าทั้งช่วงเริ่มต้นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและช่วงการจ่ายโหลดให้เข้าสู่สภาวะเสถียรได้รวดเร็วมากขึ้น เพื่อที่จะดำเนินการปรับปรุงเสถียรภาพของการจ่ายพลังงานไฟฟ้าระบบเชื่อมโยงไฟฟ้าช่วงดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น จึงได้ใช้การควบคุมความถี่ของโหลดไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกเข้ามาปรับปรุงแก้ไขแล้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีกว่า PI - Controller

คำสำคัญ: พีไอ-คอนโทรลเลอร์, ฟัซซี่ ลอจิก (Fuzzy Logic), ตัวควบคุมความถี่ - โหลดแบบฟัซซี่, ระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง

Abstract

This paper is a presentation of the Load-Frequency Control of Interconnected Power System by using Fuzzy Logic Controller. Fuzzy logic control has been widely applied for handling the system control. For Military, Business of Industries, Medicine and Engineering. Since the Load-Frequency behaviors of power system of uncontrolled or PI-Controller wanted to the stability at first of energize and load in a short time. 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 Fuzzy Logic Controller the improved can compared with conventional PI- Controller

Keywords: PI-Controller, Fuzzy Logic, Load - Frequency Controller, Interconnected Power System

1. คำนำ

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะเสถียรภาพนั้นมีความสำคัญ การควบคุมความถี่โหลดที่

ผ่านมามีการนำเสนอการควบคุมความถี่โดยระบบควบคุมเอนเนอร์เจอร์อัตโนมัติและการใช้ตัวควบคุมแบบพี-ไอ[1] และการควบคุมความถี่โหลดในสองพื้นที่ที่ใช้พีไอผสมแบบต่างๆ[2] รวมถึงปัญหาของการควบคุมแบบพี-ไอในแบบสองพื้นที่[3] อย่างไรก็ตามก็มีการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมทั้งแบบการใช้ตัวควบคุมแบบพี-ไอ[4] และแบบฟัซซี่ลอจิก-พีไอที่เหมาะสมเพื่อลดการแกว่งของระบบเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด[5-6] ซึ่งมีความจำเป็นในการพิจารณาการควบคุมความถี่-โหลดของสองพื้นที่โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก[7-8] และการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับการควบคุมความถี่-โหลด[8-9] รวมถึงการปรับปรุงระบบการควบคุม[10] และปัญหาผลกระทบจากการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมความถี่โหลด[11-12] ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Simulink/Matlab ตามลำดับ

องค์ประกอบของการนำเสนอบทความนี้ประกอบด้วย การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความถี่-โหลด โดยการตั้งค่าฟังก์ชันสมาชิกและกฎการควบคุมแบบสองคิดสองถูก (Trial and error) จำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ออกแบบมีสมรรถนะในการควบคุมความถี่และความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ ได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพี-ไอ สุดท้ายจะกล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ สำหรับงานวิจัยลำดับต่อไป

2. รูปแบบการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 2 พื้นที่

2.1 ระบบควบคุมแบบสองพื้นที่ทั่วไป

ในการศึกษาและพิจารณาการควบคุมแบบสองพื้นที่ประกอบไปด้วยการเชื่อมโยงดังรูปที่ 1 [1] ซึ่งเป็นการควบคุมเครื่องกำเนิดแบบอัตโนมัติดังสมการ

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

เมื่อ

$$A \text{ คือ ค่าคงที่เมทริกซ์, } B \text{ และ } \Gamma \text{ คือ ค่าคงที่ของเมทริกซ์ด้านเข้า,}$$

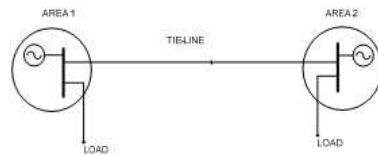
$$x(t) = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$$

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

เมื่อ Δf_i คือ ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่หนึ่ง Δp_g คือ กำลังทางกลที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่หนึ่ง ΔX_{Ei} คือ ค่าดัชนีแรงควบคุมที่

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

เปลี่ยนแปลงของพื้นที่หนึ่ง Δf_i คือ ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สอง Δp_{e2} คือ กำลังทางกลที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สอง ΔX_{e2} คือ ค่าตำแหน่งควบคุมที่เปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สอง Δp_{iw} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในการเชื่อมโยงของสองพื้นที่



รูปที่ 1. โดอะแกรมทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่

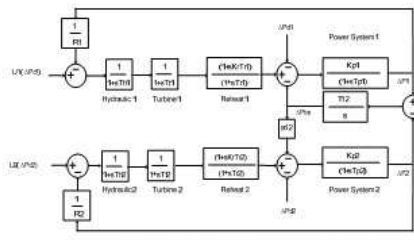
ขั้นแรกของการควบคุมการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ คือการทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบเชื่อมโยงสมดุลเพื่อรักษาค่าความถี่ให้คงที่และทำให้พื้นที่ควบคุม(ACE) แต่ละพื้นที่เป็นศูนย์ตามสมการ

$$u(t) = [\Delta P_{c1} \ \Delta P_{c2}]^T \quad (3)$$

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

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

เมื่อ B คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ป้อนกลับของพื้นที่ $\Delta P_{se,j}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในการเชื่อมโยงของสองพื้นที่ และมีบล็อกโดอะแกรมฟังก์ชันด้วยอินทิเกรตแบบไม่มีการควบคุมและมีการควบคุมดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. บล็อกโดอะแกรมของวงจรการควบคุมแบบสองพื้นที่

2.2 วงจรการควบคุมแบบ PI Controller

ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบอินทิเกรต (Proportional Integral Controller) ดังสมการควบคุม

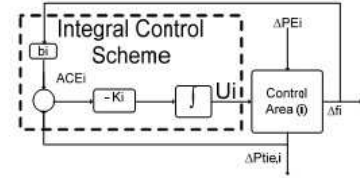
$$U_i = -K_i \int_0^t (ACE_i) dt = K_i \int_0^t (\Delta P_{se,i} + b_i \Delta f_i) dt \quad (6)$$

2.3 วงจรการควบคุมแบบ Fuzzy Logic Controller

ในการเชื่อมโยงกันในระบบของสองพื้นที่เมื่อใช้การควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Logic Controller) ประกอบไปด้วยสามขั้นตอน คือ

- 1). Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงค่าตัวแปรผ่าน Membership .
- 2). Inference Engine เป็นขั้นตอนการวินิจฉัยผลลัพธ์ว่าควรอยู่ที่

ในช่วงใดได้แก่วิธี Center of Area, Maximum



รูปที่ 3. รูปวงจรควบคุมแบบ PI Controller

3). De-Fuzzification เป็นขั้นตอนการแปลงตัวแปรฟัซซีกลับสู่ค่าตัวแปรโดยผ่าน Membership

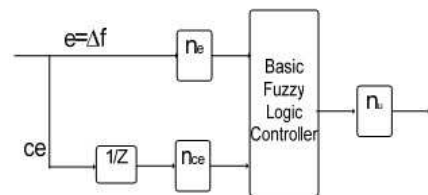
สำหรับการควบคุมความถี่-โหลดโดยการสมมุติฐาน ผลตอบสนองค่าตัวแปรผิดพลาด(e) และความแตกต่างของข้อผิดพลาด (ce) ดังสมการควบคุม

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

เมื่อค่าตัวแปรผิดพลาดเท่ากับค่าเบี่ยงเบนความถี่ (Δf) กำลังไฟฟ้าจริงของระบบ คือ ความแตกต่างระหว่างความถี่กำลังไฟฟ้าจริงของระบบ (f) และ แผนกำหนดการของความถี่กำลังไฟฟ้า (fn) โดยให้ n_e และ n_{ce} เป็นค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงอัตราหน่วยความผิดพลาดตามลำดับ และฟัซซีฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น(F) การควบคุมแบบฟัซซีอีกคือการอาศัยอัตราหน่วยทางด้านเข้าดังรูปที่ 5 และอัตราหน่วยทางด้านออกที่ควบคุมคือ n_u และ Z เป็นค่าอันดับสูงสุดของ Membership ในตารางให้ชี้การเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุม e(k) และ ce(k) ด้วยการทดสอบค่าเวลา = 0.01 sec., 0.03 sec. ดังนี้

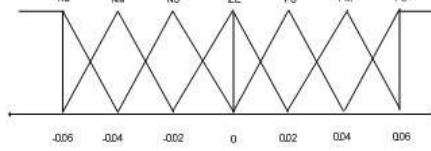
$$L(e, ce) = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PE\} \quad (8)$$

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



รูปที่ 4. รูปบล็อกโดอะแกรมวงจรควบคุมแบบ Fuzzy Logic Controller

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555



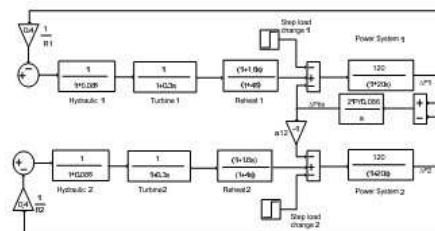
รูปที่ 5. Membership Function ของการควบคุม

ตารางที่ 1. ตารางแสดงค่าฟัซซีของการควบคุม

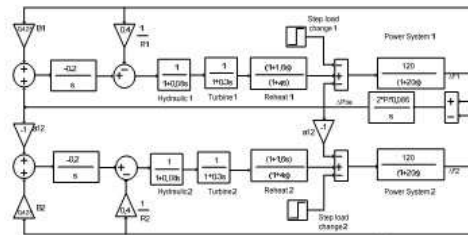
In put	out						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
out	NB	PS	PS	PS	PM	PM	PS
	NM	PB	PM	PM	PS	PS	PS
	NS	PM	PM	PS	PS	PS	ZE
	ZE	NS	NS	NS	ZE	PS	PS
	PS	ZE	NS	NS	NS	NM	NM
	PM	NS	NS	NM	NM	NB	NB
	PB	NS	NM	NB	NB	NB	NB

3. การออกแบบ Parameter

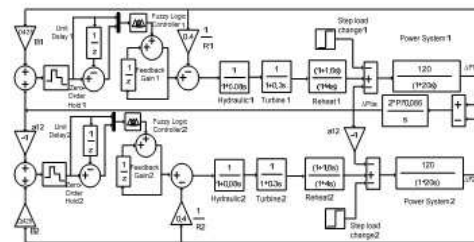
ในการจำลองการควบคุมความถี่-โวลตจของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมโยงแบบสองพื้นที่ด้วยคอมพิวเตอร์ใช้โปรแกรม Simulink ของ Matlab ซึ่งระบบที่จำลองขึ้นนี้ประกอบด้วยระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำเชื่อมโยงสองพื้นที่โดยเลือกใช้การเปลี่ยนแปลงของโวลตจแบบทันทีทันใด (Step Load) ค่าตัวแปร Parameters โดยที่ $T_{11}=T_{12}=0.08s$, $T_{11}=T_{12}=0.3s$, $T_{P1}=T_{P2}=20s$, $R_1=R_2=2.4pu$, MW/Hz , $K_{P1}=K_{P2}=120 Hz/pu.MW$, $T_{12}=0.086$, $B_1=B_2=0.425 pu.MW/Hz$, $a_{12}=-1$, $\Delta P_{d1}=0.01pu$, $\Delta P_{d2}=0.03pu$, $K_{P1}=K_{P2}=0.4Hz/pu.MW$, $K_{I1}=K_{I2}=0.2 Hz/pu.MW$, $T_{I1}=T_{I2}=4s$.



รูปที่ 6. โดอะแกรมทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่ที่ไม่มีวงจรควบคุมความถี่



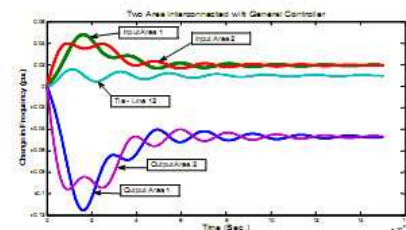
รูปที่ 7. โดอะแกรมทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองพื้นที่ที่มีวงจรควบคุมความถี่



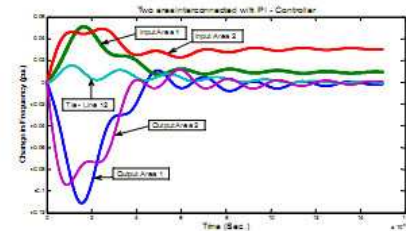
รูปที่ 8. รูปวงจรควบคุมแบบ Fuzzy Logic Controller

4. ผลการจำลอง

ผลการจำลองระบบกรณีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโวลตจที่เกิดขึ้น และการเชื่อมคอกันระหว่างพื้นที่สองพื้นที่จะแสดงผลได้ดังรูป

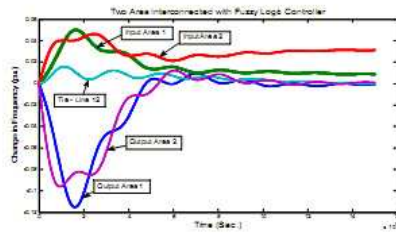


รูปที่ 9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โวลตจกรณีไม่มีตัวควบคุม

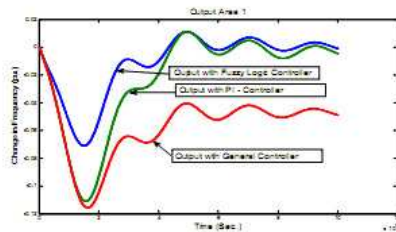


รูปที่ 10. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โวลตจกรณีใช้ตัวควบคุมแบบ PI-Controller

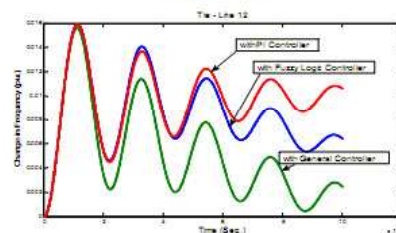
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555



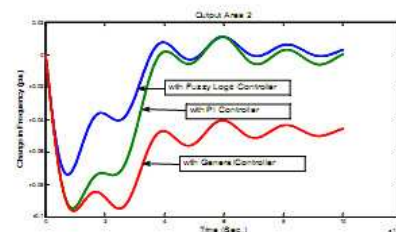
รูปที่ 11. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดกรณีใช้ตัวควบคุมแบบ Fuzzy Logic Controller



รูปที่ 12. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดทางด้าน Out Put Area 1



รูปที่ 13. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดทางด้าน Tie - Line 12



รูปที่ 14. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการควบคุมความถี่-โหลดทางด้าน Out Put Area 2

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการจำลองศึกษาการวิเคราะห์การควบคุมความถี่ของโหลดแบบสองพื้นที่โดยเปรียบเทียบการไม่ใช้ตัวควบคุมความถี่-โหลดกับการใช้ตัวควบคุมความถี่-โหลดแบบ PI-Controller และแบบ Fuzzy Logic Controller ซึ่งจากผลการทดลองทดสอบของระบบที่มีการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ

การควบคุมความถี่ใช้เวลานในการเข้าสู่ภาวะเสถียรภาพของการควบคุมความถี่ของโหลดน้อยกว่าแบบ PI-Controller และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่น้อยกว่าทำให้ระบบดีขึ้น นำผลที่ได้จากการจำลองระบบมาวิเคราะห์ปรับปรุงเพื่อพัฒนา และแก้ปัญหาเสถียรภาพการควบคุมความถี่-โหลดของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบจริงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] Ghazanfar Shahgholian,Serareh Yazdekhesti, Pegah Shafaghi, "Dynamic Analysis and Stability of the Load Frequency Control in Two Area Power System with Stream Turbine" IEEE 2009 DOI 10.1 109/ICCEE.2009.95.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Lokman H.Hassan, F.Mohamed,M.Moghavvemi,S.S.Yang. "Load Frequency Control of Power System with Sugeno Fuzzy Gain scheduling PID controller" IEEE 2009.ICROS-SICE International Joint Conference 2009.
- [6] ชีรวิช ไชยธรรม,อิสระชัย งามหรุ,ศราวุธ โพธิยา, "การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก-พีไอดีที่เหมาะสมด้วยวิธีฟังก์ชันที่ควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริด" The31th Electrical Engineering Conference (EECON-31,PW-19).
- [7] Jawad Talaq,Fadel Al-Basri, "Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control" IEEE Transaction on Power Systems,Vol.14,No1 Feb.1999.



The 3rd International Conference
On Sustainable Energy and Green Architecture

Chaophya Park Hotel, Bangkok, Thailand

March 14-16, 2012

Abstracts Book



Conference theme: Climate Change Mitigation through Sustainable Built Environment development

Organized by:



RCSEE
ENERGY & ENVIRONMENT

Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Co-Hosted by:



Faculty of Architecture Kasetsart University

Organizing Committees

Chairperson

- Joseph KHEDARI

Advisor

- Issaree HUNSACHAROONROJ

Treasurer

- Montana WISAWABUMRUNGCHAI

Conference Coordinator

- Pard TEEKASAP

International Scientific Committee

- Mana AMORNKITBAMRUNG *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Hazim B. AWBI *University of Reading, UK*
- Nam-Choon BAEK *Korea Institute of Energy Research, Korea*
- Tika BUNNAG *Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Thailand*
- Preeda CHANTAWONG *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Michel DAGUENET *France*
- David ETHERIDGE *University of Nottingham, UK*
- Gian Vincenzo FRACASTORO *Politecnico di Torino, Italy*
- Yves GAGNON *University of Moncton, Canada*
- Shabbir H. GHEEWALA *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Fariborz HAGHIGHAT *Concordia University, Canada*
- Jongjit HIRUNLABH *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Yoon Jong HO *Hanbat National University, Korea*
- Issaree HUNSACHAROONROJ *Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Thailand*
- Raphael Muzondiwa JINGURA *Chinhoyi University of Technology, Zimbabwe*

- Joseph KHEDARI *Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Thailand*
- Pojanie KHUMMONGKOL *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Yuguo LI *University of Hong Kong, China*
- Martin LIDDAMENT *The International Journal of Ventilation, UK*
- Christian MASSON *University of Quebec, Canada*
- Noppanun NANKONGNAB *Mahidol University, Thailand*
- Hideaki OHGAKI *Nagoya University, Japan*
- S. A. OKE *University of Lagos, Nigeria*
- Phadungsak RATTANADECHO *Thammasat University, Thailand*
- Claude-Alain ROULET *Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland*
- Massood SAMII *Southern New Hampshire University, USA*
- S. C. SEKHAR *National University of Singapore, Singapore*
- U-Cheul SHIN *Daejeon University, Korea*
- Suntud SIRIANUNTAPIBOON *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Pasinee SUNAKORN *Kasertsart University, Thailand*
- Pattaranan TAKKANON *Kasertsart University, Thailand*
- Sombat TEEKASAP *Eastern Asia University, Thailand*
- Kittichai TRIRATANASIRICHAI *Khon Kaen University, Thailand*
- Ming-Lang TSENG *Ming Dao University, Taiwan*
- Sopa VISITSAK *Kasetsart University, Thailand*
- Jompob WAEWSAK *Thaksin University, Thailand*
- L. Q. "Rick" WANG *University of Hong Kong, China*
- Somchai WONGWISES *King Mongkut's University of Technology, Thailand*
- Nuparb YAMTRAIIPAT *Mahanakorn University of Technology, Thailand*
- Belkacem ZEGHMATI *Universite de Perpignan Via Domitia, France*

Committee

- Tika BUNNAG (Chair)
- Vorakamol BOONYAYOTHIN
- Kanokorn HUSSARO
- Waraporn KLINBUN
- Manjiri KUNTE
- Withaya PUANGSOMBUT
- Pard TEEKASAP
- Tusanee TONDEE

Conference Staff

- Jiraporn JOOMKAMTA
- Chaiporn SUPHAHITANUKOOL
- Montana WISAWABUMRUNGCHAI
- Pathummas YONGYOOT

Webmaster

- Adisorn SANGSONGFA

Cover Designer

- Thana ANANACHA

Abstract Contents (Cont.)

	Page
RE02 Resource Assessment and VSPP Wind Farm Feasibility along the Coast of Andaman Sea of Thailand	23
RE03 The Near-Shore Wind Resource Assessment at Huasai, Nakhone Si Thammarat, Southern Thailand	24
RE04 The Development of 3-km Resolution Offshore Wind Map for Central Southern Thai Gulf	25
RE05 Thermo-Hygroscopic Properties of Mixed Rice Husk-Glycerine Briquette	26
RE06 Near-Shore Wind Resource Assessment and 200 MW Wind Farm Feasibility in Huasai District of Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand	27
RE07 Feasibility of VSPP Onshore Wind Farm at Khao Prabaht, Huasai In Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand	28
RE08 A Survey of Solar PV for Factory Sector in Thailand What were the barriers to the success?	29
RE09 Plastics Waste Management and Convert to Oil in Thailand	30
RE10 Industrial Waste Heat Thermoelectric Power Generator	31
RE11 Performance of Various Adsorbent/Absorbent for Biogas Purification	32
RE12 Potential Study of Bio-Oil Production from Agriculture Residues by Mean of Induction Pyrolysis	33
RE13 Potential Study of Biogas Production from Animals Manure with Rice Straw in Thailand	34
RE14 Anaerobic Co-digestion of Cow Dung and Biomass Residues for Rural House Hold	35
RE15 Optimum Design of a Thai Sail Rotor through Wind Tunnel Experiments	36
RE16 Thai Sail Windmill: Technological Aspects	37
RE17 Investigation on Quantity and Property of Jatropha Oil from Various Extraction Method	38
RE18 Wind Resource Assessment using CFD Model for Simple Terrain in Southern Thailand	39
RE19 Potential and Perspectives of Biomass from Palm Oil Mill for using as Renewable Energy in Thailand	40
RE20 Optimal Placement of Large Scale PV Power Generation Systems in Radial Distribution Systems for Loss Reduction	41
RE21 Electricity by Waste Heat Recovery from Household Equipment	42
RE22 Load-Frequency Control of Interconnected Power System by using Fuzzy Logic Controller	43
RE23 Design and Analysis of Interleaved Boost Converter for Renewable Energy Applications	44
RE24 Analysis Overvoltage Problem at Terminal of Induction Motors	45

LOAD – FREQUENCY CONTROL OF INTERCONNECTED POWER SYSTEM BY USING FUZZY LOGIC CONTROLLER

Sawat yukhalang, Krischonme Bhumkittipich*

Power System and Energy Research Center (PSRC), Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
39 Moo 1, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

*Tel: +662 549-3571 Fax: +662549-3422 Email: krischonme.b@rn.mutt.ac.th

ABSTRACT

This paper proposes the load-frequency control of interconnected power system by using fuzzy logic controller. The fuzzy logic control has been widely applied for handling the system control. For Military, Business of Industries, Medicine and Engineering. Since the Load-Frequency behaviours of power system of uncontrolled or PI-Controller that wanted to the stability at first of energize and load in short time. For considering the sensitivity of power system model 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 Fuzzy Logic Controller the improved can compared with conventional PI- Controller.

INTRODUCTION

In Interconnected power system, important with satisfactory and stable operation control of disturbances power system. Proposed load frequency control(LFC) by using PI-Controller for automatic generator control (AGC) [1] and load frequency control of interconnected two areas by using PI-Controller integrate, included problem for interconnected two areas by using PI-Controller and design of optimize controller [2-5]. However, optimize the Fuzzy logic Control(FLC) and fuzzy logic-PI Controller for interchanged load immediately [6] in considered load frequency control two areas interconnected by using Fuzzy logic controller[7-9] and adjust control system for interconnected power system[10] and effect Fuzzy logic controller in power system control [11-12] in program mathematic model by Simmulink/Matlab program.

The output power of generator controlled with mechanical input. Also, the LFC problem is very important in interconnected power system because the load perturbation in any areas disturb the frequency of others [2]. Many researchers have been done in the past about load-frequency control in interconnected power system. In the literature, some control strategies have been suggested based on conventional and fuzzy, neural network controllers [2-13]. Fixed gain controllers are designed at nominal operation conditions and fail to provide best control performance over a wide range of operation conditions. So, to keep system performance near its

optimum, it is desirable to track the operating conditions and use updated parameters to compute the control. Classical based adaptive controller proposed by [3], despite the promising results achieved by this controller, the control algorithms are complicated. Fuzzy gain scheduling controllers proposed by [4-6]. In these controllers, controller parameters can be changed very quickly since parameter estimation is not required. However, in the same method, the transient response can be unstable because of abruptness in system parameters. Adaptive fuzzy gain scheduling controller used in [7]. In this controller, the parameters of proportional and integral (PI) controller achieved off-line by changing in operation conditions and saved, and then in the on-line application fuzzy expert adjusted the PI controller by monitoring the operation conditions. This paper is compose optimization design fuzzy logic controller for load frequency control by Membership and control Trial and Error law using computer program model for fuzzy logic control stability and durability parameter performances power system the improved can compared with PI- Control and conclusion paper summarize and suggestion.

CONTROL MODEL OF TWO AREA POWER SYSTEM

Two Area Control Systems

This study and considered in load frequency control two areas interconnected by using Fuzzy logic controller in Fig.(1) is Automatic Generator Control :

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

Where A is the system matrix, B is the input distribution matrix; Γ is the disturbance distribution matrix, $x(t)$ is the plant state vector, $u(t)$ is the incremental change in the speed changer position, $P(t)$ is the disturbance vector of load change. The frequency f and the tie-line power exchange, P_{ie} are the variables of interest in LFC.

$$x(t) = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_7]^T \\ = [\Delta f_1 \ \Delta f_2 \ \Delta p_{g1} \ \Delta p_{g2} \ \Delta X_{E1} \ \Delta X_{E2} \ \Delta P_{ie}]^T \quad (2)$$

$$u(t) = [\Delta P_{c1} \ \Delta P_{c2}]^T \quad (3)$$

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

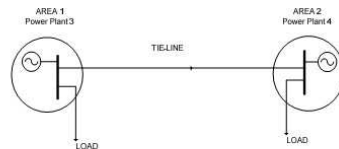


Fig. 1: Diagram Two Areas Interconnected Power System

The two areas interconnected power system control is stability of frequency and electric power for interconnected in area (ACE):

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

Where b_i is the frequency bias coefficient of i -th area, and $\Delta P_{tie,ij}$ is tie-line interchange error between the i -th and j -th areas. Detail block diagram transfer function for uncontrolled and automatic generator control in Fig.(2):

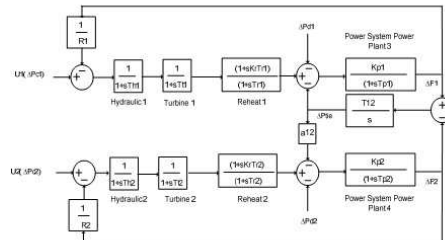


Fig. 2: Block Diagram Two Areas Interconnected Power System

PI-Controller

In two areas interconnected by proportional integral control (Pi-control) to concept of decentralized direct tie-line power flow control:

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

Including controllers is show in Fig. 3:

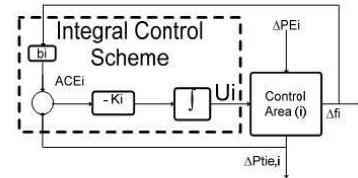


Fig. 3: Conventional of PI-Controllers

Fuzzy Logic Controller

The interconnected two areas system by using Fuzzy Logic Control consists of three main stages is:

- 1) Fuzzification is pre-processing modify the value by Membership
- 2) Inference Engine is pre-processing by centre of Area, Maximum
- 3) De-Fuzzification is pre-processing by Membership

For load frequency control the process operator is assumed to respond to variables error (e) and change of error (ce):

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

Where, n_e and n_{ce} are the error and the change of error scaling gain and F is a fuzzy nonlinear function. FLC is dependant to its input scaling gain. The block diagram of FLC output control gain is n_u and z is the maximum membership degree. A label set corresponding to linguistic variables of the input control signals $e(k)$ and $ce(k)$, with a sampling time of 0.01 sec. Is as follows:

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

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

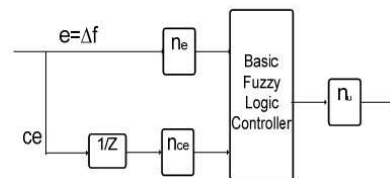


Fig. 4: Block Diagram of Fuzzy logic Controllers

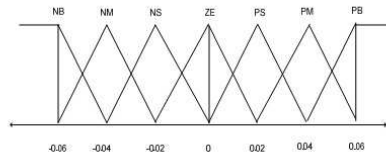


Fig. 5: Membership Function for the Control Input Variable

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

Table 1 Fuzzy Inference Rule for Fuzzy Logic Controller

PARAMETER DESIGN

Model simulation for load frequency controls two areas of interconnected by Matlab/Simulink for interchange step load.

Parameter

Where,

$T_{h1}=T_{h2}=0.08s, T_{r1}=T_{r2}=0.3s, T_{p1}=T_{p2}=20s, a_{12}=-1, \Delta P_{d1}=0.01pu, \Delta P_{d2}=0.02pu, R_1=R_2=2.4pu, MW/Hz, K_{p1}=K_{p2}=120 Hz./pu.MW, T_{12}=0.445, B_1=B_2=0.425 pu.MW/Hz,$

$K_{r1}=K_{r2}=0.5Hz./pu.MW, K_{i1}=K_{i2}=0.2 Hz./pu.MW, T_{r1}=T_{r2}=10s,$

Nomenclature,

- T_h = hydraulic valve actuator time constant, sec.
- T_r = reheat time constant, sec.
- T_t = main inlet volume and steam chest time constant, sec.
- K_r = fraction of total turbine power generated gain constant, Hz/pu.MW.
- K_p = power system gain constant, Hz/pu.MW.
- T_p = power system time constant, sec.
- R = speed governor regulation parameter, Hz/pu.MW.
- ΔP_d = change in load, pu.

- ΔP_{tie} = tie-line power deviation, pu.MW.
- ΔP_c = change in speed changer position.
- Δf = frequency deviation, Hz.
- B = area frequency bias setting, pu.MW/Hz.
- T_{12} = tie-line coefficient.

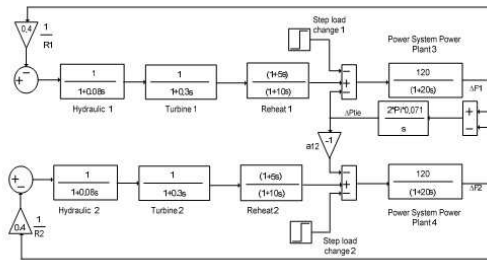


Fig. 6: Diagram of without Control Two Areas Power System

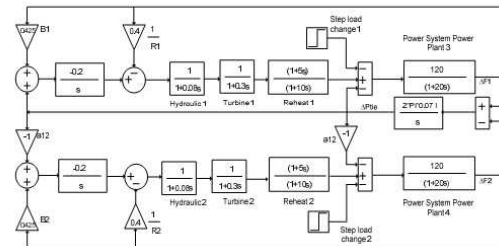


Fig. 7: Diagram of PI-Control Two Areas Power System

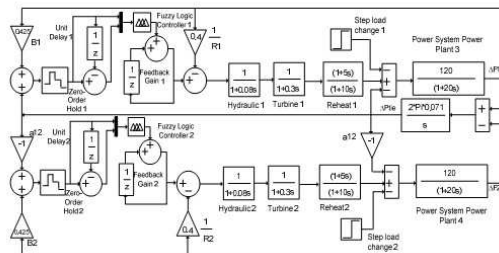


Fig. 8: Diagram of Fuzzy Logic Control Two Areas Power System

SIMULATION RESULTS

Effects are also considered in the following simulation

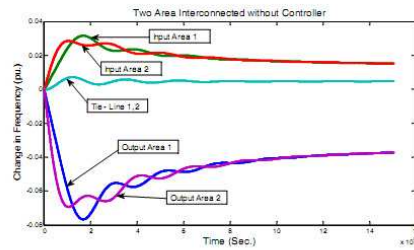


Fig. 9 Output Frequency Deviation without Control Two Areas

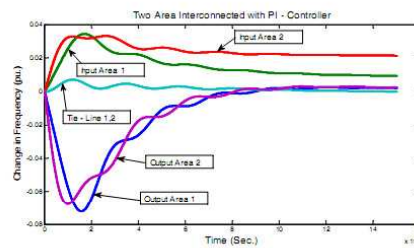


Fig. 10 Output Frequency Deviation PI- Control Two Areas

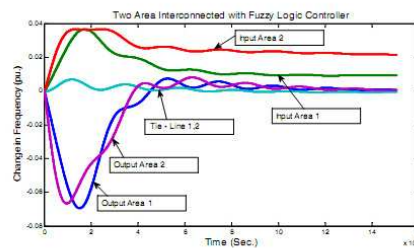


Fig. 11 Output Frequency Deviation Fuzzy Logic Control Two Areas

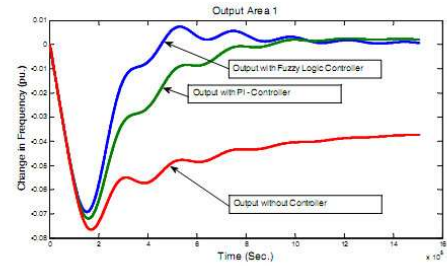


Fig. 12 Output Frequency Deviation Control Areas 1

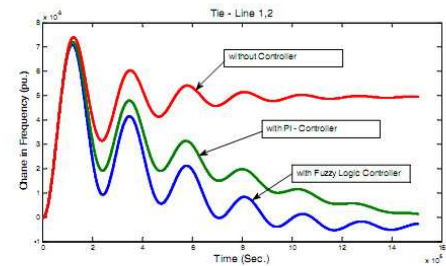


Fig. 13 Output Frequency Deviation Tie - Line 12

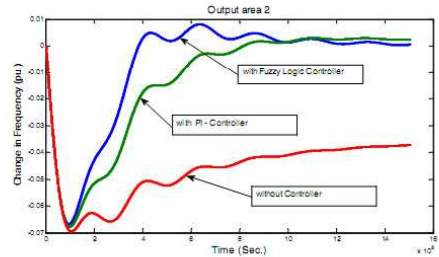


Fig. 14 Output Frequency Deviation Control Areas 2

CONCLUSION

In this paper, proposed is study analysis and simulation load frequency control two areas interconnected by compare with uncontrolled, Automatic Generation Control, PI-Controller and Fuzzy Logic Controller for simulation fuzzy logic controller power system response is given stability and efficiency the performance of load frequency control for two areas. This simulation is analysis for developed and solve a problem in real stability interconnected power system

ACKNOWLEDGEMENT

We are grateful to Office of Higher Education Commission, Ministry of Education, Thailand for its financial support to carry out this study.

REFERENCES

- 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.
- Ghazanfar Shahgholion,Serareh Yazdekhashti, Pegah Shafaghi, "Dynamic Analysis and Stability of the Load Frequency Control in Two Area Power System with Stream Turbine" IEEE 2009 DOI 10.1 109/ICCEE.2009.95.
- 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.
- Lokman H.Hassan, F.Mohamed,M.Moghavvemi,S.S.Yang. "Load Frequency Control of Power System with Sugeno Fuzzy Gain scheduling PID controller" IEEE 2009.ICROS-SICE International Joint Conference 2009.
- C.Terawuth,I.Ngamroo,S.Photiya "Design of Optimal Fuzzy Logic-PID Controller using Bee Colony Optimization for Frequency control in The Microgrid System" The31th Electrical Engineering Conference (EECON-31,PW-19).
- Jawad Talaq,Fadel Al-Basri, "Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control" IEEE Transaction on Power Systems, Vol.14, No1 Feb.1999.
- Ilham Kocaarslan,Ertugrul Cam, "Load Frequency Control in Two Area Power System using Fuzzy Logic Controller" Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kirikkale University, Yahsihan, Kirikkale 71450, Turkey. Energy Conversion and Management 46 (2005) 233-243.
- B.Anand,Member,IEEE,and A.Ebenezer Jeyakumar, "Load Frequency Control of Hydro-Thermal System with Fuzzy Logic Controller Considering Boiler Dynamics"IEEE 2009.
- Ertugrul Cam, "Application of Fuzzy Logic for Load Frequency Control of Hydro Electrical Power Plant" Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kirikkale University, Yahsihan, Kirikkale 71450, Turkey. Energy Conversion and Management 48 (2007) 1281-1288.
- Ilham Kocaarslan,Ertugrul Cam, "Fuzzy Logic Controller in Interconnected Electrical Power Systems for Load Frequency Control" Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kirikkale University, Yahsihan, Kirikkale 71450, Turkey. Energy Conversion and Management 27 (2005) 542-549.
- Surya Prakash,Sunil Kumar Sinha,Ajay shekhar Pandey,Brijesh Singh. "Impact of Slider Gain on Load Frequency Control using Fuzzy Logic Controller" ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol.4 No.7 Sep.2009.
- K.A.El.Metwally. "An Adaptive Fuzzy Logic controller for a Two Area load Frequency Control Problem" 978-1-4244-1933-3/08.2008.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย สวัสดิ์ บุคละลัง
วัน เดือน ปี	20 พฤศจิกายน 2518
ที่อยู่	67 หมู่ 1 ต.แสนชาติ อ.จันทาร จ.ร้อยเอ็ด 45000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต เทคนิครุงเทพ เมื่อ พ.ศ. 2545
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน	ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท ทรีคอต ดีไซน์ จำกัด
พ.ศ. 2551-2553	ผู้จัดการหน่วยงาน บริษัท คูริฮารา (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2548-2550	วิศวกรโครงการงานระบบ บริษัท เจริญกฤษเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
พ.ศ. 2542-2547	ผู้ช่วยวิศวกรไฟฟ้า – วิศวกรไฟฟ้า บริษัท ชินสยามเทคโนโลยี จำกัด
พ.ศ. 2540-2542	Technician class บริษัท ซีเคทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2539-2540	ช่างเทคนิคด้านงานไฟฟ้า-แมคคานิคควบคุม บริษัท อะโกรไลน์ จำกัด กลุ่ม บริษัทเกษตรรุ่งเรืองพืชผล