การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วย MATLAB

THERMAL POWER PLANT SIMULATIONS USING MATLAB

โดย

กัลยรัตน์ เลาหสงคราม

กีรติ ธนะไพบูลย์

กีรติ ไวยวิเชียร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วย MATLAB
THERMAL POWER PLANT SIMULATIONS USING MATLAB

โดย

กัลยรัตน์ เลาหสงคราม
กีรติ ธนะไพบูลย์
กีรติ ไวยวิเชียร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL POWER PLANT SIMULATIONS USING MATLAB

Kanyarat Laohasongkram
Keerati Thanapaiboon
Keerati Waiwichean

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วย MATLAB
THERMAL POWER PLANT SIMULATIONS USING MATLAB

โดย

นางสาวกัลยรัตน์ เลาหสงคราม
นายกีรติ ธนะไพบูลย์
นายกีรติ ไวยวิเชียร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล
รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วย MATLAB

ผู้จัดทำ

1. นางสาว กัลยรัตน์ เลาหสงคราม
2. นาย กีรติ ธนะไพบูลย์
3. นาย กีรติ ไวยวิเชียร

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิริวิภากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วย MATLAB

นางสาวกัลยรัตน์ เลาหสงคราม
นายกีรติ ธนะไพบูลย์
นายกีรติ ไวยวิเชียร
ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาและจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant) จำนวน 1 หน่วยผลิตที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลัง การจำลองนี้นำเสนอพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำและเครื่องควบคุมความเร็ว (Steam Turbine and Governor) ซึ่งได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก และวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำ เมื่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนเชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลังและส่งกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโหลดที่มีต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้า รวมทั้งผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดพร่องขึ้นในระบบ ซึ่งโมเดลการจำลองการทำงานจะถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม MATLAB R2012a รวมทั้งทำการสร้างส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI) เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Power Plant Simulations Using MATLAB

Kanyarat Laohasongkram
Keerati Thanapaiboon
Keerati Waiwichean
Dr. Nirudh Jirasuwankul Advisor
Assoc.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn Advisor
Year 2013

ABSTRACT

This thesis study and presents a simulation of Thermal Power Plant with single generation unit which connected to power system. This simulation exhibits behavior of generator, exciter, steam turbine and governor by monitoring electrical quantities such as voltage, current, frequency, magnetizing voltage and stream valve control. The thermal power plant connected to the power system and transfer power to different load. Then analyze the impact of load changes on the power plant. Including the effect of fault occurs in the system. The simulation model is created by MATLAB R2012a including created graphic user interface (GUI) for ease of use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และการดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล และ รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอบกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ สำหรับท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ตั้งแต่เริ่มเข้ารับการศึกษา เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่าน นำมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และผู้ที่มีพระคุณต่อคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ที่สนับสนุนทั้งทางด้านการเงิน การศึกษา ตลอดจนให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ระบบโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังไอน้ำ	4
2.1.1หลักการเบื้องต้น	4
2.1.2 ระบบอุดมคติ	5
2.1.3 กรอบพิกัดการทำงานของวัฏจักร	6
2.1.4 อิทธิพลของค่าตัวแปรต่างๆต่อสมรรถนะของระบบ	6
2.1.5 วิธีปรับปรุงสมรรถนะของระบบ	8
2.2 ห้องเผาไหม้	9
2.2.1 ระบบใช้แรงงานคนป้อนเชื้อเพลิง	9
2.2.2 ระบบสโตกเกอร์	9
2.2.3 ระบบพัลเวอร์ไรซ์	11
2.2.4 ระบบไซโคลน	12
2.3 ระบบหม้อไอน้ำ	12
2.3.1 ชนิดของหม้อไอน้ำ	12
2.3.2 ส่วนประกอบของระบบหม้อไอน้ำ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 กังหันไอน้ำ	16
2.4.1 ชนิดของกังหันไอน้ำ	16
2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	18
2.6 Exciter	20
2.7 Governor	23
2.8 ข้อกำหนดคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	26
2.8.1 ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้ากำหนดไว้กับลูกค้า	26
2.8.2 คุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้ากำหนดไว้สำหรับโรงไฟฟ้าที่ขนานเข้ากับระบบ	30
บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองและการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วยโปรแกรม MATLAB	31
3.1 โปรแกรม MATLAB	31
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง	31
3.1.2 แบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน	35
3.1.3 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้	37
3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน	38
3.2.1 การศึกษาระบบในสภาวะคงตัว	38
3.2.2 การศึกษาระบบในสภาวะพลวัตน์	38
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์	40
4.1 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านปัญหาแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ	41
4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการเกิดกระแสลัดวงจร	42
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความถี่ไฟฟ้า	42
4.4 การเปรียบเทียบค่าแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆ	43
4.5 การเปรียบเทียบการเกิดการกระเพื่อมของแรงดันเมื่อเปลี่ยนขนาดของภาระไฟฟ้า	44
4.6 การวิเคราะห์ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	46
5.1 ผลกระทบต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ	46
5.1.1 เปรียบเทียบขนาดกระแสขณะเกิดการลัดวงจร	46
5.1.2 เปรียบเทียบปัญหาแรงดันตกเมื่อเกิดการลัดวงจร	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ผลกระทบต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า	46
5.2.1 เปรียบเทียบการเกิดแรงดันกระเพื่อมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า	47
5.2.2 เปรียบเทียบผลกระทบทางด้านความถี่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก ข้อกำหนดเกี่ยวกับการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า	50
ภาคผนวก ข บทความวิชาการ	68
ประวัติผู้เขียน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้า กฟผ. เดือนกรกฎาคม 2556	1
2.1 ระบบของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ	4
2.2 แผนภาพอุณหภูมิ – entropy ของวัฏจักร Carnot และ Rankine	5
2.3 การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำ เมื่อสภาวะอย่างอื่นคงที่	7
2.4 การเพิ่มความดันไอน้ำ เมื่อสภาวะอื่นคงที่	8
2.5 แผนภาพ T-s ของวัฏจักรที่มีการให้ความร้อนซ้ำ	8
2.6แผนภาพที่มีการให้ความร้อนซ้ำ	9
2.7 ลักษณะห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบตะกรับเลื่อน (Traveling Grate Stoker)	10
2.8 ลักษณะห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบกระจาย (Spaeder Fired Stoker)	11
2.9 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบพัลเวอร์ไรซ์	11
2.10 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน	12
2.11หม้อไอน้ำท่อไฟ 2 กลับ	13
2.12 หม้อไอน้ำท่อน้ำ	14
2.13 ลักษณะการทำงานของ Back Pressure Steam Turbine	16
2.14 แผนผังการผลิตไฟฟ้าของ Back Pressure Steam Turbine	17
2.15 Condensing Extraction Steam Turbine	17
2.16 แผนผังการผลิตไฟฟ้าของ Condensing Steam Turbine	18
2.17 DC Generator-Commutator Exciter	20
2.18 AC Generator-Commutator Exciter	20
2.19 Static Excitation System	21
2.20 Brushless Excitation System	22
2.21 การควบคุมความเร็วรอบแบบ Isochronous Speed	24
2.22 ลักษณะ Block Diagram ของ Droop Governor	24
2.23 การควบคุมความเร็วรอบแบบ Droop Speed	25
2.24การแบ่งภาระไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขนานวงจรกัน	25
2.25 การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงโดย Speed Governor	26
3.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน	36
3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ	36
3.3 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้	37
4.1 กราฟแสดงค่าแรงดันพีคในสภาวะคงตัวเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำโครงงาน	3
2.1 ระดับแรงดันไฟฟ้าตามข้อกำหนดคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	26
2.2 ขีดจำกัดค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม	27
2.3 ขีดจำกัดค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม	28
2.4 ขีดจำกัดค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม (ต่อ)	28
2.5 ขีดจำกัดค่าความรุนแรงของไฟกระพริบ	29
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของ Synchronous Generator ที่ใช้ในการจำลอง	32
3.2 ค่าพารามิเตอร์ของ Power Transformer ที่ใช้ในการจำลอง	33
3.3 ค่าพารามิเตอร์ของ Excitation System ที่ใช้ในการจำลอง	33
3.4 ค่าพารามิเตอร์ของ Steam Turbine and Governor ที่ใช้ในการจำลอง	34
4.1 ค่ากระแสลัดวงจรจากความผิดพร่องภายในระบบชนิดต่างๆ	42
4.2 ค่าความถี่ไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบไฟฟ้า	42
4.3 ค่าความถี่ไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดภาระไฟฟ้า	43
4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆขึ้นในระบบ	44
4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

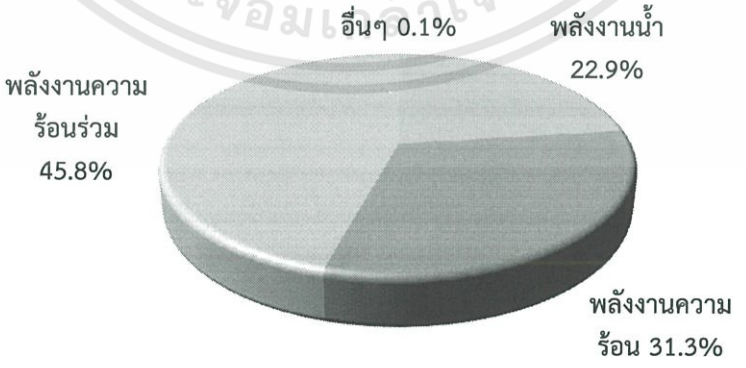
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงต้นกำลังไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.)มีหน้าที่หลัก คือ เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าส่งให้กับ การไฟฟ้านครหลวง(กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.) ซึ่งเป็นผู้ดูแลจัดการการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบจำหน่ายไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม สำหรับโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนนั้นเป็นโรงต้นกำลังไฟฟ้าที่มีการใช้งานเป็นกำลังผลิตส่วนใหญ่ของประเทศจัดเป็นกำลังหลักในการผลิตไฟฟ้าให้กับประเทศ โดยมีการนำมาใช้งานเป็นโรงต้นกำลังภาระฐาน (Base Load Plant) ซึ่งเป็นโรงต้นกำลังที่ต้องเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง

หากเกิดปัญหาขึ้นกับระบบผลิตไฟฟ้าจะเกิดความเสียหายต่อผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นวงกว้าง ดังนั้นการดูแลระบบผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดจะต้องมีการควบคุมดูแลการทำงานของระบบที่ดีที่สุด เพื่อให้ระบบไฟฟ้านั้นมีความคงทนต่อสภาพการต่างๆ และพร้อมรับสถานการณ์ผิดปกติที่จะเกิดขึ้นจากตัวก่อกวนทั้งภายนอกและภายในระบบไฟฟ้า ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าซึ่งทำให้ระบบไฟฟ้าไม่มีเสถียรภาพอาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยเช่น ปัญหาทางธรรมชาติ เกิดอุบัติเหตุขึ้นกับสายส่ง การเปลี่ยนแปลงความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า เกิดปัญหาภายในระบบไฟฟ้าเอง เป็นต้น การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน จะแสดงถึงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถคาดการณ์เหตุการณ์และทรัพยากรที่จำเป็นต่อการดำเนินการผลิต เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือ เชื้อเพลิง บุคลากร เป็นต้น การเตรียมการอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการจะช่วยให้ระบบมีความมั่นคง สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบ



รูปที่ 1.1 กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้า กฟผ. เดือนกรกฎาคม 2556 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและส่วนประกอบของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าที่มีต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะผิดพร่องในระบบที่มีต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน
4. เพื่อสร้างโมเดลการจำลองการทำงานที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ศึกษาหาข้อมูลและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยทำการสืบค้นจากฐานข้อมูลของบทความ ปริญญานิพนธ์ และจากหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการสร้างแบบจำลองและทำการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. ศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ในโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าและเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ
4. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานและส่วนประกอบของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน
2. ศึกษามาตรฐานข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการดำเนินงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน
3. ทำการสร้างแบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลักของโรงต้นกำลังได้แก่ เครื่องกำเนิดไอน้ำ, กังหันไอน้ำ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เครื่องควบคุมความเร็ว และ Exciter
4. ทำการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ในโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ทำการจำลอง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าและเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ
5. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2556					พ.ศ. 2557				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←	—	→							
2.ทำการศึกษาโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของโรงต้นกำลังไฟฟ้า			←	—	→					
3.ทำการสร้างแบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้า				←	—	—	→			
4.ทำการจำลองและวิเคราะห์ผลการจำลอง นำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลการทกลอง							←	—	→	
5.จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์								←	—	—

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้รับความรู้ที่จากการศึกษาหลักการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอนาคต
2. สามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นแก่ผู้ที่สนใจศึกษาการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

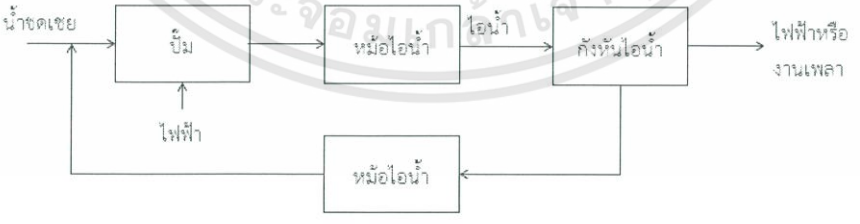
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1ระบบโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังไอน้ำ [1]

2.1.1หลักการเบื้องต้น

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนอาศัยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา แก๊สธรรมชาติ ถ่านลิกไนต์ ได้ความร้อนออกมา ถ่ายเทให้สารตัวกลางที่ความดันสูงเช่น น้ำ อากาศ ซึ่งจะนำไปถ่ายเทให้แก่อุปกรณ์ผลิตงานเพลาที่เรียกว่ากังหัน(Turbine)อีกทอดหนึ่ง งานเพลาที่ได้อาจนำไปใช้ขับเครื่องจักรโดยตรง เช่น ขับปั๊ม พัดลม เครื่องสับอ้อย หรือใช้เครื่องปั่นไฟ(Generator)เพื่อผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าประเภทนี้มี 2 ชนิดคือ โรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำซึ่งมีหม้อน้ำ(Boiler)กับกังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญ และโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง และมีเครื่องอัดลม(Compressor)กับกังหันแก๊ส(Gas Turbine)เป็นส่วนประกอบสำคัญ โดยในปริญญานิพนธ์นี้จะนำเสนอโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำใช้น้ำเป็นสารตัวกลางขนถ่ายพลังงาน เนื่องจากน้ำเป็นสิ่งที่มีอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ จัดหาได้ง่าย โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยเป็นสำคัญ การจะนำน้ำไปใช้สร้างพลังงานได้จำเป็นต้องมีการเพิ่มความดันและอุณหภูมิเพื่อให้มีศักย์หรือ “Availability” สูงขึ้น แล้วจึงนำไปผลิตกำลังงานออกมาโดยการเพิ่มความดันของน้ำจะอาศัยปั๊ม การเพิ่มอุณหภูมิอาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาหม้อไอน้ำ ส่วนการผลิตกำลังอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า กังหันไอน้ำ ประกอบกับระบบส่งกำลังหรือเครื่องปั่นไฟ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่เรียกว่าคอนเดนเซอร์(Condenser)เป็นการนำไอน้ำกลับสู่สภาพเดิม โดยต้องระบายความร้อนออกจากไอน้ำ ให้เกิดการควบแน่นเป็นน้ำหมดเพื่อให้สามารถเพิ่มความดันได้สะดวกดังนั้นระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำที่ใช้กังหันไอน้ำแบบควบแน่นจะประกอบด้วยกระบวนการเพิ่มความดัน การให้ความร้อนในเตาหม้อไอน้ำ การขยายตัวในกังหัน และการควบแน่นในคอนเดนเซอร์ รวมกันเป็นวงจรปิดหรือทำงานเป็นวัฏจักร (Cycle) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



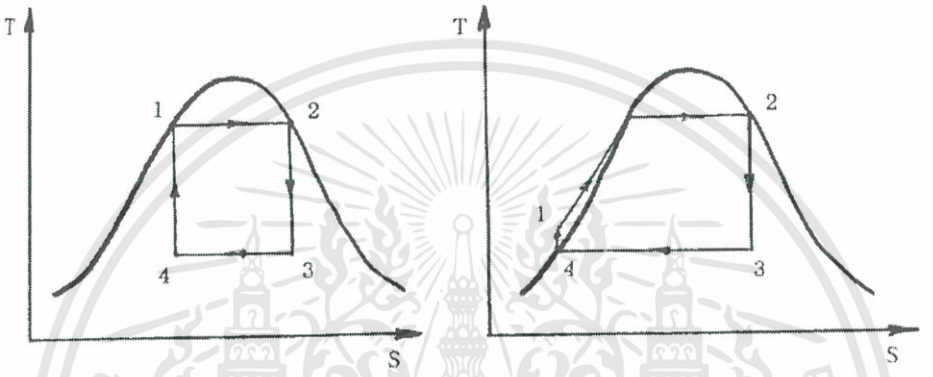
รูปที่ 2.1 ระบบของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ

จากการที่ระบบย่อยหรืออุปกรณ์แต่ละอย่าง มีการแลกเปลี่ยนความร้อนและงานกล หรือพลังงานอื่นๆ กับสิ่งที่อยู่นอกระบบ/อุปกรณ์ (Surrounding) การวิเคราะห์สมรรถนะหรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบ จึงอาศัยหลักการและทฤษฎีทาง Thermodynamics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2ระบบอุดมคติ (Ideal system)

ระบบอุดมคติ คือ ระบบที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานในระบบย่อยหรืออุปกรณ์ต่างๆ เช่น การสูญเสียเนื่องจากความฝืด แรงเสียดทาน หรือการสูญเสียความร้อน ดังนั้นเมื่อเราพิจารณาให้โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำเป็นระบบแบบอุดมคติ เราจะได้การทำงานของปั๊ม และกังหันเป็นแบบ isentropic ส่วนการให้และระบายความร้อนในหม้อไอน้ำกับคอนเดนเซอร์ ก็จะเป็นกระบวนการที่มีความดันคงที่ ซึ่งเมื่อสมมุติให้ส่วนแรกเกิดที่อุณหภูมิคงที่ ก็จะได้วัฏจักรอุดมคติมาตรฐานทางทฤษฎีที่เรียกว่า วัฏจักรCarnot ดังแสดงในรูปที่ 2.2



ก. วัฏจักร Carnot ข. วัฏจักร Rankine

รูปที่ 2.2 แผนภาพอุณหภูมิ – entropy ของวัฏจักร Carnot และ Rankine [1]

ตามทฤษฎี Thermodynamics วัฏจักร Carnot เป็นวัฏจักรที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในระหว่างวัฏจักรที่ทำงานระหว่างอุณหภูมิต่ำและสูงเหมือนกัน แต่วัฏจักรนี้เป็นเพียงวัฏจักรทางทฤษฎี ไม่สามารถปฏิบัติได้จริง เพราะปั๊มจะปรับความดันของน้ำที่อยู่ในสภาพน้ำกับไอน้ำผสมกันได้ลำบาก ดังนั้นรูปแบบของวัฏจักรอุดมคติที่ถือเป็นต้นแบบของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำในปัจจุบันจึงเป็นวัฏจักร Rankine ดังแสดงในรูป 2.2 ข. แต่อย่างไรก็ตามเรายังคงใช้วัฏจักร Carnot เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของวัฏจักรต่างๆ ซึ่งจะให้ถึงค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้ทางทฤษฎีดังนี้ กำหนดให้ T_H กับ T_L เป็นอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของวัฏจักร ประสิทธิภาพของวัฏจักร Carnot จะเป็นดังแสดงในสมการที่ 2.1 และประสิทธิภาพของวัฏจักร Rankine จะเป็นดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\eta_c = \frac{T_H - T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \tag{2.1}$$

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_b} \tag{2.2}$$

โดยที่ W_t, W_p = งานที่กังหันผลิตได้, งานที่ใช้ขับปั๊ม

Q_b = ความร้อนที่ให้กับสารทำงานในหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กรอบพิกัดการทำงานของวัฏจักร

เมื่อใช้วัฏจักร Rankine เป็นพื้นฐานในการพิจารณา การทำงานของระบบจะถูกจำกัดโดยอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของระบบ ขีดความสามารถในการทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงของวัสดุที่ใช้ทำ Superheater และกังหันในขั้นตอนแรก (First turbine stage) จะเป็นตัวกำหนดระดับอุณหภูมิสูงสุด T_H ในปัจจุบันมักจะใช้ในช่วงอุณหภูมิ 540-600^{o}C ส่วนในช่วงอุณหภูมิต่ำ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้หล่อเย็นคอนเดนเซอร์กับลักษณะการออกแบบคอนเดนเซอร์ ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิของไอน้ำขณะควบแน่นจะสูงกว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นอยู่ประมาณ 10^{o}C ดังนั้นความดันที่ทางออกของกังหันไอน้ำแบบควบแน่น จึงมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ซึ่งจะได้ W_t เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับวัฏจักรที่ทำงาน โดยมีความดันทางออกกังหันเท่าบรรยากาศหรือสูงกว่า

2.1.4 อิทธิพลของค่าตัวแปรต่างๆต่อสมรรถนะของระบบ

พิจารณาตัวแปรสำคัญ 3 ตัว ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของระบบดังนี้

2.1.4.1 ความดันในคอนเดนเซอร์

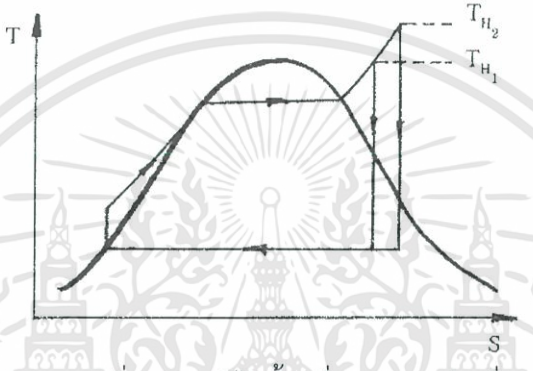
ในโรงไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำชนิดควบแน่น ความดันในคอนเดนเซอร์จะต่ำกว่าบรรยากาศ หากพิจารณาให้ค่าความดันส่วนที่ต่ำกว่าบรรยากาศเป็นปริมาณสูญญากาศ จะได้ว่าความดันในคอนเดนเซอร์ยิ่งมีค่าต่ำ ปริมาณจะยิ่งมากและอุณหภูมิของการควบแน่น (T_L) ก็จะลดตามลงไปด้วย ซึ่งเมื่อตรวจสอบดูกับสมการแสดงประสิทธิภาพของวัฏจักรCarnotในสมการ 2.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อให้อุณหภูมิของการรับความร้อนเฉลี่ยคงที่ การให้ T_L ลดต่ำลงจะทำให้ η ของวัฏจักรมีค่าสูงขึ้น ขีดจำกัดต่ำสุดของค่า T_L จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และขนาดของคอนเดนเซอร์ การใช้คอนเดนเซอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งมีพื้นผิวถ่ายเทความร้อนมาก และถ้าออกแบบให้ใช้อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นมากๆ ด้วย จะทำให้ T_L ลงไปใกล้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ได้ η สูงขึ้น แต่จะค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการปั๊มน้ำหล่อเย็นสูงมากขึ้น ดังนั้นควรเลือกใช้ขนาดของคอนเดนเซอร์ที่มีความเหมาะสม และมี η สูง เพื่อความประหยัดสูงสุด จะได้ว่าค่าที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำควบแน่นกับน้ำหล่อเย็น จะอยู่ระหว่าง 11-14^{o}C

จากการคำนวณเปรียบเทียบ ผลกระทบของการลดค่าความดันในคอนเดนเซอร์ของวัฏจักรมาตรฐาน พบว่าหากเพิ่มปริมาณสุญญากาศจาก 711mmHg เป็น 737mmHg ประสิทธิภาพของวัฏจักรจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4-5% แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดที่เป็นตัวกำหนดค่าความดันต่ำสุดคือ ค่าอัตราส่วนความแห้ง (Dryness fraction) ของไอน้ำที่ออกจากกังหัน โดยปกติมักจะจำกัดไม่ให้ต่ำกว่า 0.85 เนื่องจากปัญหาการเซาะกร่อน (Erosion) ของก้านใบพัดกังหันของเครื่อง และค่าประสิทธิภาพกังหันซึ่งจะลดลง ถ้าให้ทำงานกับไอน้ำที่เปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 อุณหภูมิไอน้ำ

การเพิ่มอุณหภูมิ Superheated เมื่อระดับความดันในหม้อไอน้ำและคอนเดนเซอร์มีค่าคงที่ จะทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยของการให้ความร้อนสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ η ของวัฏจักรดีขึ้นด้วย แต่ยังน้อยกว่า η_c นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำ ส่งผลดีอีกข้อคือ ช่วยให้ไอน้ำที่ออกจากกังหัน มีอัตราส่วนความแห้งมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพของกังหันดีขึ้นเพราะทำงานกับไอน้ำแห้งมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยอ้อมให้ η สูงเพิ่มขึ้นอีก

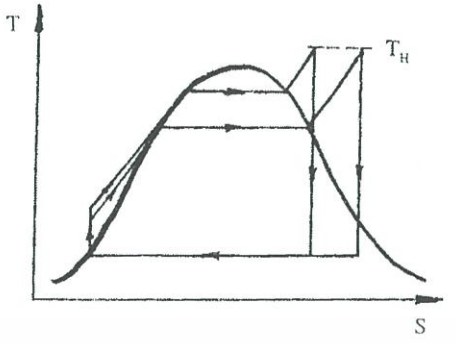


รูปที่ 2.3 การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำ เมื่อสภาวะอย่างอื่นคงที่ [1]

2.1.4.3 ความดันไอน้ำ

เมื่อให้ T_H และความดันในคอนเดนเซอร์คงที่ การเพิ่มความดันในหม้อไอน้ำ จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของการรับความร้อนมีค่าสูงขึ้น η ก็จะสูงขึ้นตาม แต่อัตราส่วนความแห้งจะลดลง เป็นผลให้ไอน้ำที่ออกจากกังหันเปียกมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพกังหันต่ำลง ผลโดยรวมของการเพิ่มค่าความดัน จึงไม่ปรากฏชัดเจน เพราะเกิดผล 2 อย่างที่เป็นทั้งข้อดีและข้อเสีย แต่อย่างไรก็ตาม อาจพิจารณาตัวอย่างผลการคำนวณเปรียบเทียบที่มีผู้ทำไว้คือ ถ้าเพิ่มความดันจาก 50 เป็น 80 บาร์ จะได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นประมาณ 3% แต่ถ้าเพิ่มสูงกว่านี้ เช่น 80 เป็น 110 บาร์ ประสิทธิภาพจะลดลงเหลือประมาณ 1.5% และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเซาะกร่อนของใบพัด การพิจารณาเพิ่มความดันมักจะตามด้วยการเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำด้วยเสมอ เพื่อให้ได้อัตราส่วนความแห้งของไอน้ำที่ทางออกกังหันเกิน 85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



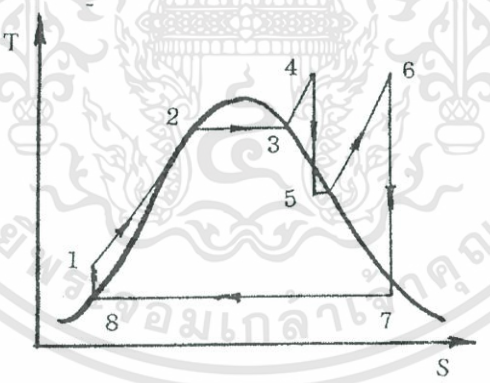
รูปที่ 2.4 การเพิ่มความดันไอน้ำ เมื่อสภาวะอื่นคงที่ [1]

2.1.5 วิธีปรับปรุงสมรรถนะของระบบ

สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ วิธีการปรับปรุงสมรรถนะที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือให้ความร้อนซ้ำ (reheat) แก่ไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ และการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (boiler feed water) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

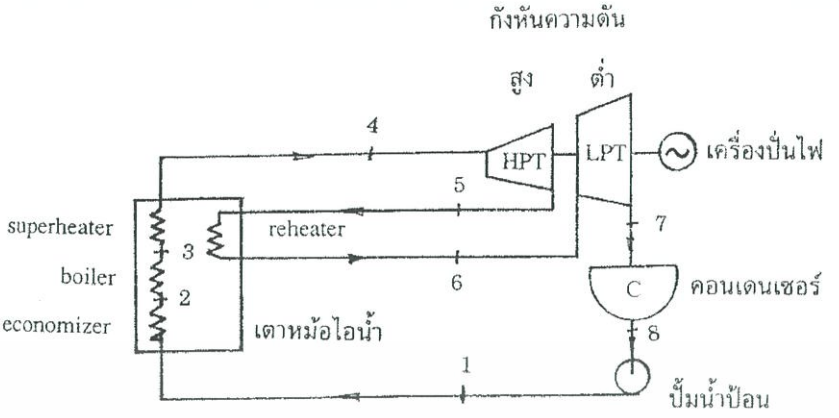
2.1.5.1 การให้ความร้อนซ้ำ (reheating)

การให้ความร้อนซ้ำคือ การนำเอาไอน้ำที่ไหลผ่านกังหันความดันสูงแล้ว นำกลับมาเติมพลังความร้อนใหม่ในเตา เพื่อให้มีอุณหภูมิและ availability สูงขึ้น ก่อนที่จะไหลผ่านกังหันตอนต่อไป ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 แผนภาพ T-s ของวัฏจักรที่มีการให้ความร้อนซ้ำ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6แผนภาพที่มีการให้ความร้อนซ้ำ [1]

ผลที่ได้จากการให้ความร้อนซ้ำแก่ไอน้ำหลังจากการขยายตัวผ่านกังหันช่วงหนึ่งแล้ว คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของการรับความร้อน (T_Hเฉลี่ย) จะสูงขึ้น

2.2 ห้องเผาไหม้ (Furnace)

บริเวณที่เป็นห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบการเผาไหม้ ซึ่งโครงสร้างห้องเผาไหม้ที่ใช้ในประเทศไทย มีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.2.1 ระบบใช้แรงงานคนป้อนเชื้อเพลิง

ระบบนี้อาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้สม่ำเสมอบนตะกรันเตาไฟ ที่ทำจากเหล็กหล่อ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะกรับเตาไฟ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ

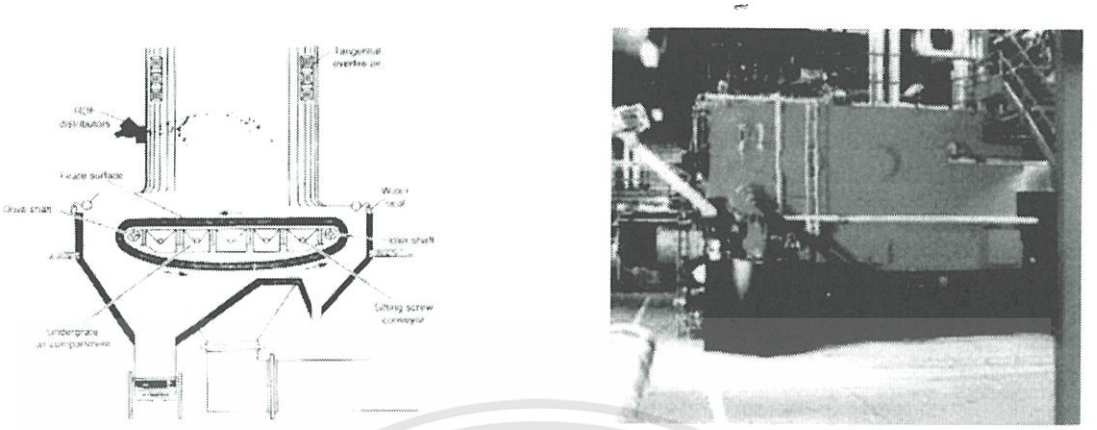
2.2.2 ระบบสโตกเกอร์(Stoker)

เป็นระบบแรกที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตา โดยอาศัยเครื่องกลแทนแรงงานคน ข้อดีของระบบนี้ คือ มีราคาถูก และสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด แต่ระบบสโตกเกอร์ มีความสามารถในการผลิตไอน้ำร้อนในระดับต่ำ ซึ่งระบบสโตกเกอร์สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.Traveling Grate Stoker

เชื้อเพลิงจะถูกป้อนออกจากถังเก็บ (Hopper) โดยสายพานตีนตะขาบ ซึ่งจะเคลื่อนที่พาเชื้อเพลิงผ่านเข้าไปในเตาเพื่อเผาไหม้ การลุกไหม้จะลุกคืบจากด้านบนของชั้นเชื้อเพลิงลงสู่ด้านล่าง ในขณะที่เชื้อเพลิงถูกพาให้เคลื่อนที่ไปยังอีกด้านหนึ่งของเตา เมื่อสายพานเลื่อนไปจนสุดทางอีกด้านหนึ่ง เชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้หมดพอดี เถ้าที่เหลืออยู่จะตกลงสู่ที่รองรับทางด้านล่าง โครงสร้างของตะกรับจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีสัดส่วนขี้เถ้ามาก อย่างไรก็ตาม โครงสร้างนี้ไม่เหมาะกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงหลายชนิดพร้อมกันเพราะเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้หมดไม่พร้อมกัน ข้อดีคือระบบการทำงานไม่ยุ่งยาก เพราะมีอุปกรณ์น้อยและสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้หมด เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วของสายพานได้ และปริมาณควันและเขม่าที่ปล่อยออกมามีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

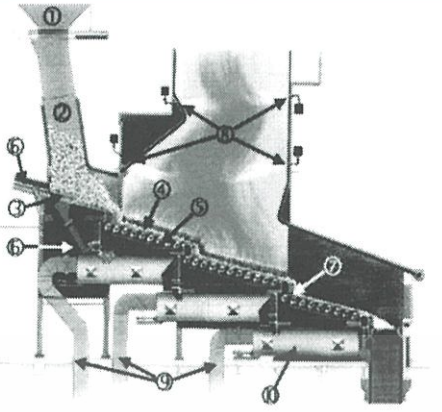


รูปที่ 2.7 ลักษณะห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบตะกรับเลื่อน (Traveling Grate Stoker) [4]

2.Speader Fired Stoker

เชื้อเพลิงถูกส่งเข้าเตาในลักษณะกระจายไปทั่วห้องเผาไหม้ด้วยเครื่องป้อนซึ่งมีลักษณะคล้ายใบพัดเป็นตัวหมุนนำกวักเอาเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กหรือเป็นผง จะเกิดการเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะลอยตัวอยู่ภายในเตา ส่วนเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่จะตกลงมาบนตะแกรง และเกิดการเผาไหม้บนตะแกรง ตะแกรงอาจมีการสั่นเป็นจังหวะเพื่อให้ขี้เถ้าร่วงลงสู่ด้านล่าง โครงสร้างนี้พัฒนามาจาก Traveling grate stoker โดยนำเชื้อเพลิงมาบดให้ละเอียดและพ่นเข้าเตา มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นเพราะเชื้อเพลิงสัมผัสอากาศทั่วถึง แต่ต้นทุนค่าก่อสร้างก็สร้างเช่นกัน ระบบการเผาไหม้แบบนี้จำเป็นต้องใช้อากาศเหนือไฟที่ด้านหลังและด้านข้างของเตา เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ อาจจำเป็นต้องติดตั้งหัวพ่นอากาศใกล้เครื่องกระจายเชื้อเพลิงเพื่อช่วยเป่าเชื้อเพลิงให้ละเอียด ข้อดีของการเผาไหม้ระบบนี้คือ เชื้อเพลิงจะจะกระจายตัวอยู่บนตะแกรง ทำให้ความดันอากาศไหลผ่านเชื้อเพลิงมีค่าน้อย ดังนั้นการควบคุมอากาศที่ป้อนใต้ตะแกรงสามารถทำได้ง่าย ข้อเสียของระบบนี้คือ มีปริมาณเขม่าและควันออกจากปล่องมาก จึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับดักขี้เถ้าที่ออกจากปล่องสู่บรรยากาศภายนอก

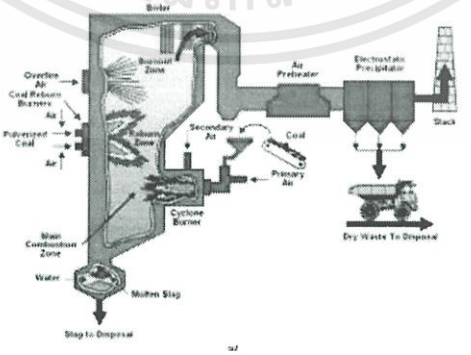
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบกระจาย (Spaeder Fired Stoker) [4]

2.2.3ระบบพัลเวอร์ไรซ์(Pulverised)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาระบบพัลเวอร์ไรซ์จะเกิดขึ้นในลักษณะที่เชื้อเพลิงแขวนลอยอยู่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาจะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะแขวนลอยในอากาศภายในเตาได้ อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตา เพื่อใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่อากาศส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกพัดพาออกจากเตาเผามากับแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ข้อดีของระบบนี้คือ ไม่จำเป็นต้องมีระบบตะแกรง ซึ่งต้องให้ความร้อนในการเผาไหม้สูง ดังนั้นเตาเผาระบบพัลเวอร์ไรซ์จึงให้ความร้อนในการเผาไหม้ได้สูงกว่า ส่วนข้อเสียของระบบพัลเวอร์ไรซ์คือ การควบคุมขี้เถ้าทำได้ยาก จึงต้องมีระบบการกำจัดขี้เถ้าที่ดี ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก นอกจากนี้การควบคุอุณหภูมิภายในเตาเผาทำได้ยาก เพราะถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมตัวของขี้เถ้าเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ ซึ่งทำให้เตาเผาเสียหาย เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องแห้งเพียงพอจึงต้องมีการอบแห้ง เป็นการเพิ่มราคาต้นทุนและพลังงานที่ใช้ให้สูงขึ้น

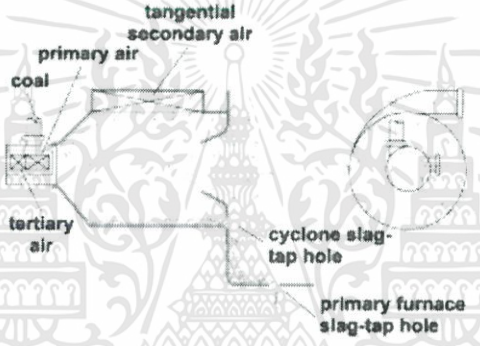


รูปที่ 2.9 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบพัลเวอร์ไรซ์ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ระบบไซโคลน (Cyclone)

เตาเผาระบบไซโคลน เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับระบบพัลเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ การเผาไหม้ในระบบไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal water-cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาระบบไซโคลนมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาแบบพัลเวอร์ไรซ์เมื่อคิดต่อหน่วยปริมาตร อากาศจะเข้าสู่เตาเผาในแนวสัมผัสกับผนังของห้องเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Turbulence) ในห้องเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้ดียิ่งขึ้น อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตาระบบไซโคลนสูงถึง 1650°C ซึ่งจะทำให้ขี้เถ้าถูกเผาไหม้กลายเป็นขี้โลหะเหลว (Liquid Slag) ได้ประมาณ 30-50% และเหลือขี้เถ้าที่ปนออกมากับแก๊สร้อนเพียง 70-50% ขี้โลหะเหลวที่เกิดขึ้นภายในเตาระบบไซโคลนนี้สามารถปล่อยออกทางด้านล่างของเตาได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน [4]

2.3 ระบบหม้อไอน้ำ (Boilers)

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ สำหรับใช้ในการขับกังหันไอน้ำ (Steam turbine) หรือเครื่องจักรไอน้ำ (Steam engine) เพื่อผลิตงานกลหรือไฟฟ้า หน้าที่หลักของหม้อไอน้ำก็คือ สามารถผลิตไอน้ำได้ตามสภาวะที่ต้องการ กล่าวคือที่ความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหลที่กำหนด โดยให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้ได้การทำงานโดยรวมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่าย

2.3.1 ชนิดของหม้อไอน้ำ

อาจจำแนกหม้อไอน้ำออกได้เป็นหลายประเภท ตามลักษณะโครงสร้าง การทำงาน และวัตถุประสงค์ การใช้งาน เมื่อพิจารณาจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นเกณฑ์ อาจแบ่งหม้อไอน้ำออกได้เป็น 2 พวกคือ หม้อไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Process boilers) กับหม้อไอน้ำกำลัง (Power boilers) สำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะผลิตไอน้ำที่ความดันต่ำ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตหรือเพื่อใช้ให้ความร้อนทั่วๆไปในอาคารโรงแรม โรงพยาบาล หรือสถานประกอบการอย่างอื่น ไอน้ำที่ผลิตได้มักจะเป็นไอน้ำอิ่มตัว และมีค่าความดันต่ำกว่า 24 บาร์ สำหรับหม้อไอน้ำกำลังจะใช้ในการผลิตงานเพลา หรือไฟฟ้าในระบบของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนหรือระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

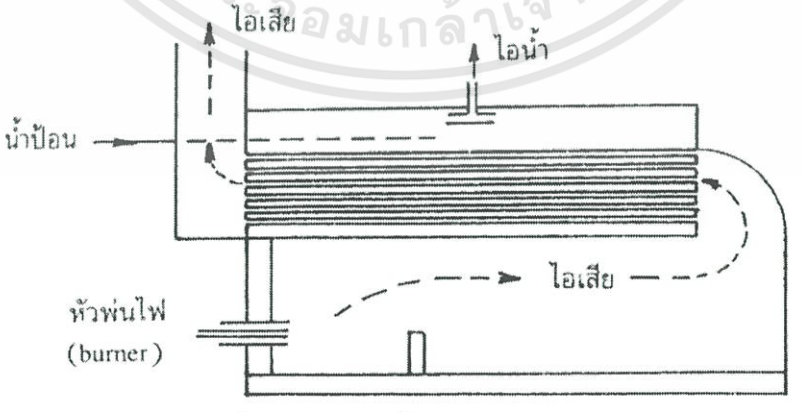
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Cogeneration) หม้อไอน้ำนี้จะมีขีดจำกัดความสามารถในการผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูงพอที่จะใช้ขับกังหันไอน้ำได้ ขนาดพิกัดต่ำสุดจะอยู่ประมาณ 26 บาร์ ไอน้ำอิ่มตัว แต่ที่ใช้กันทั่วไปมักจะเป็นหม้อไอน้ำไอดง (Superheated boilers)ความดัน 40-100 บาร์ ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าหม้อไอน้ำความดันสูง (High-pressure boilers)

นอกจากการแบ่งประเภทดังข้างต้นแล้ว ยังอาจจำแนกชนิดของหม้อไอน้ำตามลักษณะโครงสร้างการทำงานเป็น หม้อไอน้ำท่อไฟ (Fired tube boilers)และหม้อไอน้ำท่อน้ำ (Water-tube boilers) ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้

2.3.1.1 หม้อไอน้ำท่อไฟ (Fired tube boilers)

เป็นหม้อไอน้ำที่มีความสามารถในการผลิตไอน้ำได้ไม่มาก คือที่ความดันและอัตราการไหลจำกัด เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของมันที่เป็นถัง (Shell) ทรงกระบอกใหญ่ ในแนวนอนหรือตั้ง โดยมีห้องเผาไหม้รูปทรงกระบอกอยู่ภายในตัวถัง ส่วนของผนังเตาจะทำเป็นร่องเพื่อรองรับการขยายตัวขณะร้อน และเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างเมื่อรับความดันสูง โดยห้องเผาไหม้จะอยู่ทางด้านหน้าของหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเชื้อเพลิงแข็ง เหลว หรือแก๊ส ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จะถ่ายเทให้กับน้ำที่ล้อมรอบเตา โดยที่กลไกการถ่ายเทส่วนใหญ่จะเป็นแบบแผ่รังสี หลังจากนั้นไอเสียร้อนจะเคลื่อนที่ย้อนกลับในท่อหลายๆท่อที่วางเรียงขนานกับช่องเตา ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำในหม้อ (เนื่องจากปริมาณพื้นผิวถ่ายเทความร้อนมีค่ามากขึ้น) การมีไฟหรือไอเสียร้อนเดินในท่อ เป็นต้นเหตุที่เรียกหม้อไอน้ำชนิดนี้ว่าท่อไฟ หลังจากที่ไอเสียร้อนเคลื่อนที่มาถึงด้านหน้าของหม้อ ถ้าหากปล่อยออกปล่องที่ตำแหน่งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จะเรียกหม้อไอน้ำแบบนี้ว่าท่อไฟ 2 กลับ (2 passes) แต่ถ้าออกแบบให้ไอเสียเคลื่อนที่ย้อนกลับอีกครั้งหนึ่ง ก่อนออกสู่ปล่อง ก็จะเรียกชื่อว่าเป็นท่อไฟ 3 กลับ โดยทั่วไปมักจะใช้ไม่เกิน 4 กลับ เนื่องจากเพิ่มความยุ่งยากในการออกแบบตำแหน่งของกลุ่มท่อในแต่ละกลับ อาจกำหนดให้อยู่ข้างใต้ หรือเหนือช่องเตาก็ได้แล้วแต่การออกแบบ วัตถุประสงค์ของการเพิ่มจำนวนกลับ ก็เพื่อเพิ่มพื้นผิวถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนออกจากไอเสียให้แก่น้ำให้ได้มากที่สุดก่อนไหลออกปล่อง

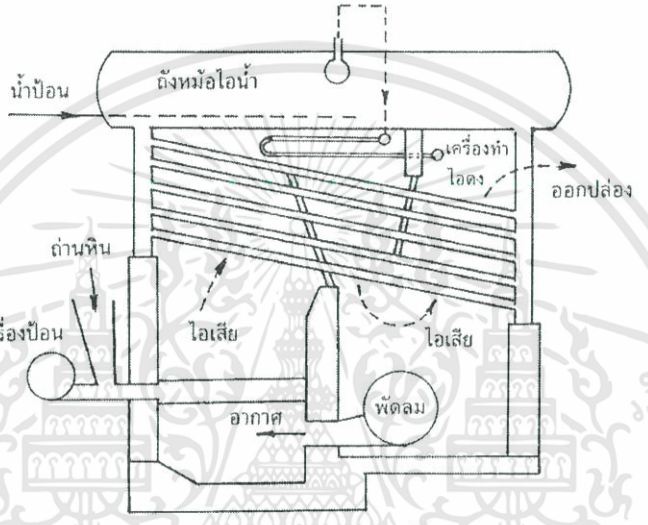


รูปที่ 2.11หม้อไอน้ำท่อไฟ 2 กลับ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 หม้อไอน้ำท่อน้ำ (Water-tube water)

ในระบบหม้อน้ำชนิดนี้ น้ำจะไหลเวียนอยู่ในท่อ ในขณะที่ไอเสียร้อนจากการเผาไหม้จะไหลผ่านท่อต่างๆเหล่านี้ ทำให้ได้การถ่ายเทความร้อนจากไอเสียมาให้น้ำในท่อ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูป 2.12 ซึ่งมีการไหลเวียนโดยอาศัยความแตกต่างในค่าความหนาแน่นของน้ำที่ตำแหน่งต่างกัน น้ำในท่อส่วนที่ได้รับความร้อนก็จะลอยตัวสูงขึ้น และน้ำที่เย็นกว่าจะไหลลงมาแทนที่ ทำให้เกิดการไหลเวียนตามธรรมชาติ ในกรณีที่ต้องการไอน้ำที่ความดันสูง อัตราการไหลสูง ลักษณะการไหลเวียนตามธรรมชาตินี้อาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องใช้การไหลเวียนแบบบังคับโดยใช้ปั๊มช่วย



รูปที่ 2.12 หม้อไอน้ำท่อน้ำ [1]

ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บสะสมไว้ในถังไอน้ำด้านบนสำหรับนำออกไปใช้งาน ระบบท่อน้ำที่ใช้ในเตาอาจออกแบบให้มีรูปร่างหลายลักษณะ เช่น ออกแบบให้มีรูปร่างตามตัวอักษร A, D และ O เป็นต้น หรือออกแบบให้ระบบท่อบางส่วนให้เป็นส่วนหนึ่งของผนังเตา จะได้ช่วยหล่อเย็นผนังทำให้เตาสามารถรับอุณหภูมิได้สูงขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอย่างหนึ่ง

โดยทั่วไปหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ จะมีอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของระบบเช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนโดยใช้ไอเสีย (Economizer) เครื่องทำไอดง (Superheater) และเครื่องอุ่นอากาศเข้าเผาไหม้โดยใช้ไอเสีย (Air preheater)

2.3.2ส่วนประกอบของระบบหม้อไอน้ำ

อุปกรณ์ประกอบที่สำคัญในระบบหม้อไอน้ำได้แก่ เตาเผาไหม้ หัวพ่นไฟ (Burners) เครื่องดงไอ (Superheaters) เครื่องให้ความร้อนซ้ำ (Reheater) เครื่องอุ่นน้ำป้อนโดยใช้ไอเสีย (Economizers) และเครื่องอุ่นอากาศเผาไหม้โดยใช้ไอเสีย (Air preheater) และปล่องไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

ในหม้อไอน้ำที่ทำงานโดยอาศัยความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จะมีเตาเผาไหม้เป็นส่วนประกอบสำคัญ หน้าที่ของเตาคือ เป็นสถานที่เผาไหม้เชื้อเพลิง ได้ไอเสียร้อนซึ่งจะถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำในหม้อ โดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นหม้อไอน้ำแบบใดก็ตาม พิกัดความสามารถในการผลิตไอน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการดังนี้

1. ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตา
2. ปริมาณพื้นผิวถ่ายเทความร้อนจากไอเสีย ให้แก่น้ำในหม้อ
3. สัดส่วนพื้นผิวถ่ายเทความร้อนที่ออกแบบให้รับการแผ่รังสีเทียบกับทั้งหมด
4. การไหลเวียนของไอน้ำและน้ำ รวมทั้งสิ่งของต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้

จากข้อความข้างต้น จะเห็นได้ว่าสำหรับหม้อไอน้ำลูกหนึ่ง ที่จะทำงานได้ผลดีตามต้องการโดยมีการสูญเสียน้อยที่สุด การเผาไหม้เชื้อเพลิงจะต้องสมบูรณ์ พื้นผิวถ่ายเทความร้อนสะอาด ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ รวมทั้งไอเสีย จะต้องถูกกำจัดออกจากเตาอย่างต่อเนื่อง

2.3.2.2 เตาที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งป่น (Pulverized solid fuel)

การใช้เครื่องป้อนเชื้อเพลิงแข็ง (Stoker) มีขีดความสามารถในการทำงานไม่สูงนัก เนื่องจากข้อจำกัดทางกายภาพของมัน โดยทั่วไปมักจะใช้เครื่องป้อนดังกล่าว กับระบบผลิตไอน้ำที่มีขนาดไม่เกิด 175 ตัน/ชั่วโมง ในหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ อย่างเช่นที่ใช้ในโรงไฟฟ้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่กระบี่ มักใช้ถ่านหินลิกไนต์หรือถ่านหินป่น (Pulverized coal) เป็นเชื้อเพลิง โดยที่ถ่านหินลิกไนต์หรือถ่านหินที่จะใช้ต้องถูกบดให้เป็นผลในเครื่องบด (Grinding mills) ก่อนแล้วจึงใช้อากาศที่จะเข้าเผาไหม้ส่วนหนึ่ง เป็นตัวพาเข้าท่อไปสู่หัวพ่นไฟ (Burners) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ผนังเตา ถ่านผงและอากาศก็จะถูกพ่นกระจายไปในเตา ลุกติดไฟโดยอาศัยระบบจุดไฟนำโดยใช้น้ำมัน ในขณะเดียวกันก็จะผ่านอากาศทุติยภูมิ (Secondary air) เข้าไปรอบๆหัวพ่นเพื่อช่วยในการเผาไหม้

หม้อไอน้ำขนาดใหญ่เหล่านี้ มักจะใช้เตาหล่อเย็นด้วยน้ำในท่อน้ำ ที่ประกอบเป็นส่วนหนึ่งของผนังเตา และการถ่ายเทความร้อนจะอาศัยการแผ่รังสี ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นกับการใช้ถ่านผงคือ ขี้เถ้าในถ่านจะถูกบดเป็นผงไปด้วย ซึ่งจะถูกพ่นเข้าเตาแล้วไหลออกไปกับไอเสีย ฝุ่นเหล่านี้จะต้องถูกกำจัดออกจากไอเสียก่อนปล่อยออกจากปล่องเพื่อลดปัญหามลภาวะ วิธีการที่ใช้กันมักจะอาศัยอุปกรณ์ 2 แบบ เป็นเครื่องกำจัดฝุ่นแบบไซโคลน (Cyclone precipitator) ซึ่งจะชักนำให้ไอเสียไหลวนในถังไซโคลน ฝุ่นซึ่งมีน้ำหนักและโมเมนตัมมากกว่าไอเสียจะปะทะกับผนัง ทำให้ความเร็วช้าลงและตกลงส่วนล่างของถัง ซึ่งสามารถรวบรวมนำไปทิ้งได้ แบบที่ 2 อาศัยวิธีทางไฟฟ้าสถิตย์(Electrostatic precipitator) เครื่องชนิดนี้จะประกอบด้วยแผ่นโลหะหรือลวดหลายๆแผ่น บางส่วนจะจัดให้มีประจุบวกและบางส่วนลบ ไอเสียที่มีฝุ่นรวมอยู่ด้วย เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแผ่นหรือลวดเหล่านี้ก็จะได้รับประจุลบ ซึ่งจะถูกดูดเข้าหาแผ่นที่มีประจุบวก หลังจากนั้นก็สามารถกำจัดขี้เถ้าออกโดยการเคาะหรือเขย่า รวบรวมนำไปทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กังหันไอน้ำ (Steam turbines)

กังหัน (Turbine) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงาน จากพลังงานไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงเป็นงานกล โดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์ ส่วนประกอบสำคัญของกังหันมี2ส่วนคือ ส่วนที่เป็นสเตเตอร์ (Stator) หรือนอซเซิล(Nozzle) และโรเตอร์(Rotor) ซึ่งประกอบด้วยใบพัดหลายๆใบยึดติดกับเพลา ไอน้ำที่ความดันสูงเมื่อไหลเข้ากังหันความดันจะถูกแปลงไปเป็นพลังงานจลน์ (Kinetic energy) โดยนอซเซิลหรือแถวของใบพัดที่อยู่กับที่ ได้กระแสไอน้ำความเร็วสูง ไหลเข้าปะทะกับใบพัดที่ยึดติดกับเพลา ในมุมที่เหมาะสม ทำให้โมเมนตัมของกระแสนั้นเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้เกิดแรงกระทำต่อใบพัดในทิศที่มีองค์ประกอบค่าหนึ่งอยู่ในแนวเส้นรอบวงของวงล้อใบพัด เช่นนี้จะทำให้เกิดแรงบิด (Torque) กระทำต่อวงล้อและเพลาตามลำดับ ส่งผลให้เพลาหมุน และได้งานเพลา (Shaft work) ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

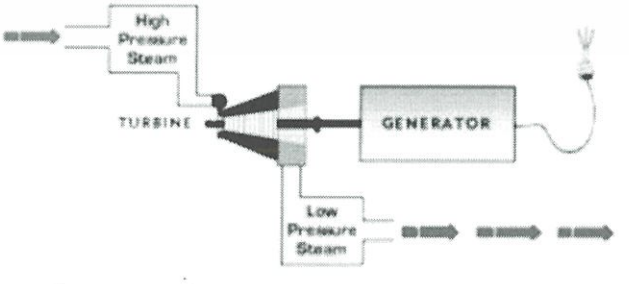
กังหันโดยทั่วไปไม่ว่าจะใช้กับไอน้ำหรือแก๊สมี 2 แบบที่สำคัญ คือแบบที่ทำงานโดยอาศัยแรงปะทะโดยตรงของกระแสของไหลความเร็วสูง กับใบพัดกังหันที่เคลื่อนที่ (Moving blades) มีชื่อเรียกว่า กังหันแบบอิมพัลส์(Impulse turbine) มักจะใช้กับกังหันขนาดเล็ก กับแบบที่อาศัยทั้งแรงปะทะและแรงปฏิกิริยาที่เรียกว่า กังหันแบบรีแอคชัน (Reaction turbine) ใช้กันอย่างแพร่หลายในกังหันขนาดใหญ่ โดยที่ในกังหันหนึ่ง อาจมีกังหันทั้ง2แบบ รวมอยู่ด้วยกันก็ได้

2.4.1 ชนิดของกังหันไอน้ำ

เราสามารถจำแนกชนิดของกังหันไอน้ำตามลักษณะของกังหันไอน้ำได้เป็น3ชนิดดังนี้

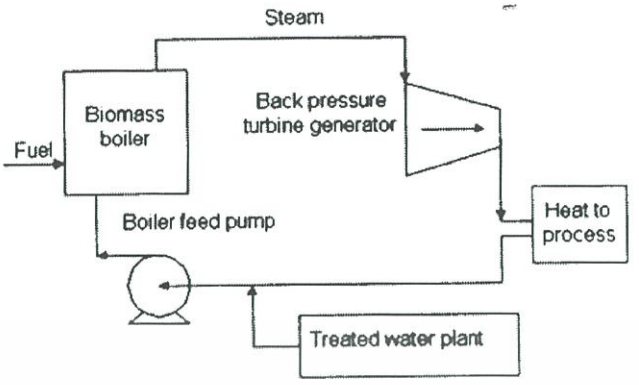
1. Back Pressure Steam Turbine

เป็นเครื่องต้นกำลังที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง มีหลักการคือ เชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ในหม้อน้ำเพื่อให้ไอน้ำมีความดันสูง (อาจสูงถึง 100 บาร์) แล้วปล่อยให้ไอน้ำขยายตัวผ่านเครื่องกังหันไอน้ำ กังหันไอน้ำจะหมุนขับเคลื่อนเครื่องกำเนิด เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ไอน้ำที่ขยายตัวผ่านกังหันไอน้ำจะถูกปล่อยออกจากตัวกังหัน และมีความดันเหลืออยู่ประมาณ 3 ถึง 20 บาร์ ไอน้ำจะถูกใช้ให้พลังงานความร้อนในกระบวนการต่างๆ ของโรงงานต่อไปเทคโนโลยีนี้เหมาะสมกับโรงงานหรือกิจการที่ต้องใช้ไอน้ำจำนวนมากในกระบวนการผลิต ดังนั้นต้องคำนวณปริมาณไอน้ำที่ต้องการและไฟฟ้าที่ใช้ให้สัมพันธ์กัน โดยประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 20-25% ประสิทธิภาพของความร้อนอยู่ที่ 60-65% และประสิทธิภาพรวมของระบบอยู่ที่ 85% ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าและนำไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.13 ลักษณะการทำงานของ Back Pressure Steam Turbine [4]

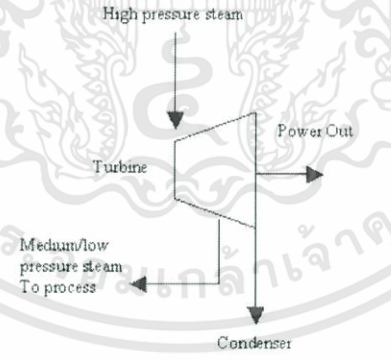
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แผนผังการผลิตไฟฟ้าของ Back Pressure Steam Turbine [2]

2. Condensing Extraction Steam Turbine

เป็นกังหันที่มีลักษณะที่แตกต่างไปจาก Back Pressure คือใน Condensing Extraction Turbine นั้น จะมีไอน้ำบางส่วนถูกปล่อยออกมาในช่วงกลางของกังหัน ไอน้ำที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างกลางนี้ จะเกิดความดันหลายขนาด ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะกับจุดใดจุดหนึ่งของกระบวนการผลิต ส่วนไอน้ำที่เหลือจะออกจากกังหันไอน้ำและถูกปล่อยให้ขยายตัวผ่านกังหันจนมีความดันต่ำลง ไอน้ำที่มีความดันต่ำเหล่านี้ ยังอาจนะไปใช้กับจุดต่างๆ ในขบวนการที่ต้องการไอน้ำที่มีความดันต่ำได้อีกด้วย ซึ่งทำให้กังหันแบบ Condensing Extraction นี้มีราคาสูง



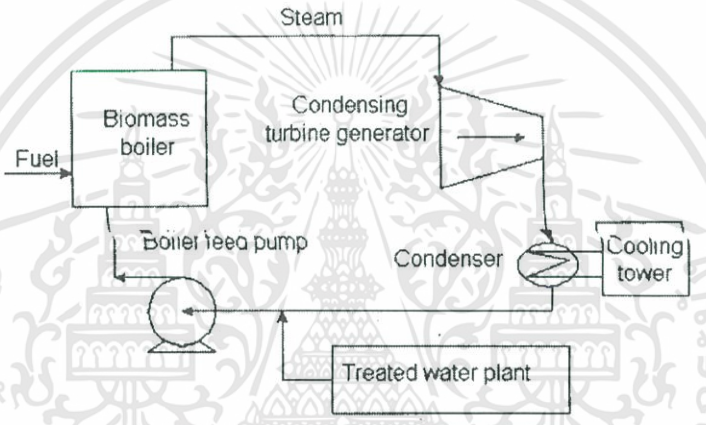
รูปที่ 2.15 Condensing Extraction Steam Turbine [4]

จากลักษณะการทำงานของระบบ ถ้าผลต่างของความดันที่เข้าและออกของไอน้ำที่ผ่านกังหันมีค่ามาก ส่งผลทำให้ได้งานจากเพลามาก ระบบนี้เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการความร้อนมาก ไฟฟ้าน้อย ซึ่งมีอัตราส่วนความต้องการความร้อนต่อไฟฟ้า (Heat to Power Ratio, H/P) ประมาณ 5-20 ประสิทธิภาพของระบบนี้อาจสูงได้ถึง 85% เนื่องจากการสูญเสียพลังงานในกังหันไอน้ำมีส่วนช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้กับกระบวนการ ขนาดของระบบโดยทั่วไปมีตั้งแต่ 500 kWh ถึง 100 MWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Condensing Steam Turbine

การทำงานเริ่มจากนำน้ำจากธรรมชาติมาบำบัดให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด จากนั้นใช้ปั๊มน้ำ (Boiler feed pump) ส่งน้ำที่บำบัดแล้วเข้าไปในหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) ซึ่งจะถูกทำให้ร้อนโดยเชื้อเพลิง น้ำที่ร้อนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำผ่านไปยังกังหันไอน้ำ (Condensing Steam Turbine) เพื่อให้เกิดการหมุน ได้กระแสไฟฟ้า ในส่วนของไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะมีความดันต่ำมากและยังคงมีสภาพเป็นไอน้ำ นำไอน้ำผ่านเครื่องควบแน่น (Condenser) และหอระบายความร้อน (Cooling tower) เปลี่ยนสถานะของไอน้ำกลับเป็นน้ำดังเดิม จากนั้นนำน้ำดังกล่าวปั๊มกลับเข้าไปในหม้อผลิตไอน้ำอีกครั้ง ให้เป็นระบบแบบหมุนเวียน ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมอยู่ระหว่าง 15-20% กังหันไอน้ำชนิดนี้เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 35%



รูปที่ 2.16 แผนผังการผลิตไฟฟ้าของ Condensing Steam Turbine [2]

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) [2]

ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลที่ได้รับเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งตามกระแสไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator) ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไป ประกอบด้วย 2 ชนิดคือ

1. Induction Generator

เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ชุดสเตเตอร์ ทำให้เกิดฟลักซ์เป็นขั้วแม่เหล็กหมุนตามสภาวะกระแสสลับ ไปเหนี่ยวนำแกนโรเตอร์ให้หมุนตามในตอนเริ่มต้น และเมื่อมีแรงมาขับโรเตอร์ให้หมุนเกินกว่า Synchronous Speed จะเกิดการเหนี่ยวนำย้อนกลับ ทำให้เกิดกระแสไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายย้อนกลับเข้าระบบสายส่ง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทตามชนิดของโรเตอร์ คือ

- ประเภทโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor)
- ประเภทโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Synchronous Generator

เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานในขณะที่โรเตอร์มีความเร็วเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากอาร์มาเจอร์ ที่หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ คือความเร็ว Synchronous Speed(50Hz) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีความถี่และแรงดันไฟฟ้าเท่ากับความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบสายส่ง

การแบ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสนั้น สามารถแบ่งออกได้หลายวิธีเช่น การแบ่งโดยลักษณะรูปร่างของโรเตอร์

- ชนิดโรเตอร์ขั้วยื่น (Silent Pole)
- ชนิดโรเตอร์ทรงกระบอก (Cylindrical Rotor)

การแบ่งโดยวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์

- ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Rotor)
- ชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์ (Wound Field Rotor)

จากการศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าข้างต้น เราได้ทำการเลือก Synchronous Generator แบบ Round Rotor ความถี่ 60 Hz เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Synchronous มีข้อดี คือ สามารถปรับตัวประกอบกำลังให้จ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนได้ด้วยตัวเอง ซึ่งแตกต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Induction ที่ต้องการ Capacitors เพื่อปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Synchronous จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

ส่วนที่หนึ่งคือขดลวดอยู่กับที่ (Armature Windings) โดยจะมี 3 เฟสพันอยู่บน Stator Core เมื่อมีไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetomotive Force (mmf)) ทำมุมเฟสต่างกัน 120 องศา

ส่วนที่สองคือ ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Windings) ที่พันอยู่บนแกนเหล็กของโรเตอร์(Rotor Core) โดยขดลวดนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนมาจาก Exciter เมื่อโรเตอร์ถูกขับหมุนด้วยเครื่องต้นกำลังจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน และเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดอยู่กับที่ ของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า (Field Poles = p) ของขดลวดทั้งสองชนิดจะมีค่าเท่ากัน

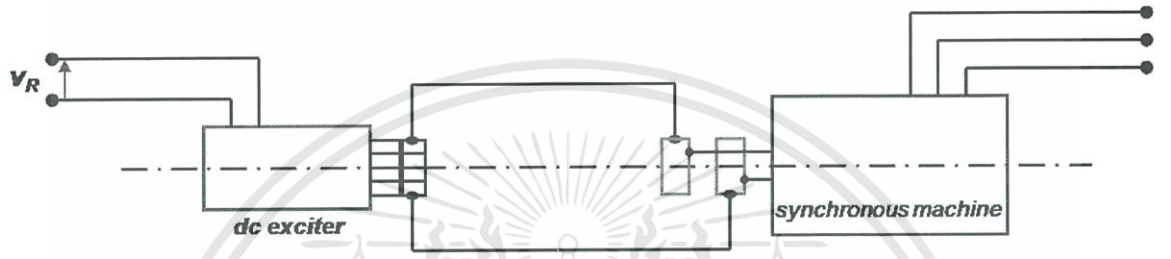
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กับโรงไฟฟ้าจะเป็นRotating Field Type ซึ่งจะสร้างกระแสไฟฟ้าได้โดยการใช้ขดลวดพันอยู่ที่ Pole ของ Stationary Armature และมีชุดสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ที่อยู่บน Rotor เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านขดลวด จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นภายในขดลวด โดยมีค่าความถี่ไฟฟ้าแปรผันไปตามความเร็วรอบของโรเตอร์และจำนวนโพลบนArmature สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกส่งมาจาก Exciter เข้าสู่ขดลวดอีกชุดหนึ่ง (Field Windings) ที่พันรอบโรเตอร์ โดยทั่วไปเราสามารถจัดประเภทของ Exciter ได้เป็น Brush Type ที่จะมาพร้อมกับ Rotating Commutator และ Static Excitation ซึ่งหมายถึง Brush Less Generator and Exciter เราสามารถจะควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR) ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตออกมาได้โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจาก Exciter ได้โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Voltage Regulator และสามารถควบคุมค่าความถี่ไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้า (Watt) ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตออกมาได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Governor หรือ Speed Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Exciter

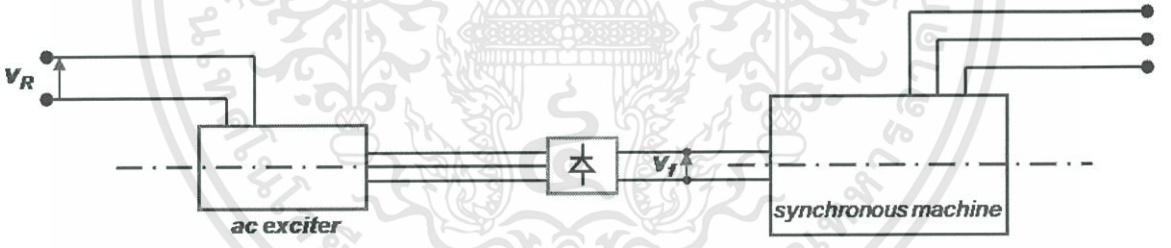
Exciter คือแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่จะป้อน DC Magnetizing Current เข้าสู่ Field Winding ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (Synchronous Generator) และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction AC Voltage) ขึ้นใน Armature Windings ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบของระบบ Excitation ได้เป็น 4 รูปแบบคือ

1. DC Generator – Commutator Exciter ที่รับพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (System with DC Generator – Commutator Exciter)



รูปที่ 2.17 DC Generator-Commutator Exciter [5]

2.AC Generator – Commutator Exciter ที่รับพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (System with Alternator Rectifier Exciter and Stationary Rectifiers) โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มักจะใช้

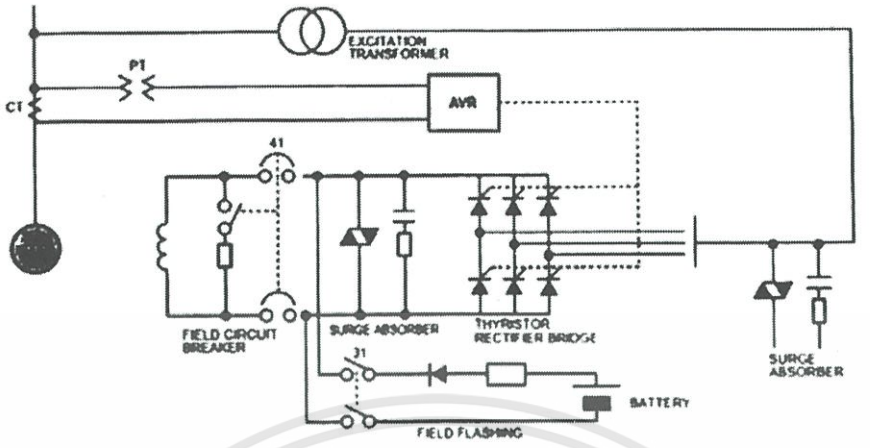


รูปที่ 2.18 AC Generator-Commutator Exciter [5]

โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มักจะใช้ Excitation System 2 ชนิดคือ

3. Static Excitation System จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าอื่นก็ได้ โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (Excitation transformer) ช่วยลดระดับแรงดันลงแล้วป้อนพลังงานให้กับ Excitation Converter เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่าน Full-Wave Thyristor Rectifier ซึ่งประกอบด้วย Three-Phase Bridge ที่ถูกควบคุมการ Trigger โดย AVR ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 Static Excitation System [2]

กระแสไฟฟ้าที่ได้จะถูกป้อนให้กับ Main Generator Field Winding โดยผ่าน Slip rings จะเห็นว่า Field Circuit จะต้องมี Surge Absorber หรือ Overvoltage Protection เพื่อช่วยป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินหรือ Negative Excitation Current ที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะมีฟอลต์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในช่วงเวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ Excitation System จะไม่มีแหล่งกำลังไฟฟ้า ซึ่ง AVR จะตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสั่งให้เบรกเกอร์ 31 ต่อวงจร (Close Circuit) เพื่อใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ หรือระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่าน Rectifier Bridge มาเพื่อป้อน Field Current ให้กับ Main Field Winding เป็นการชั่วคราว โดยไม่สนว่าจะมีค่า Remanent Voltage หรือไม่

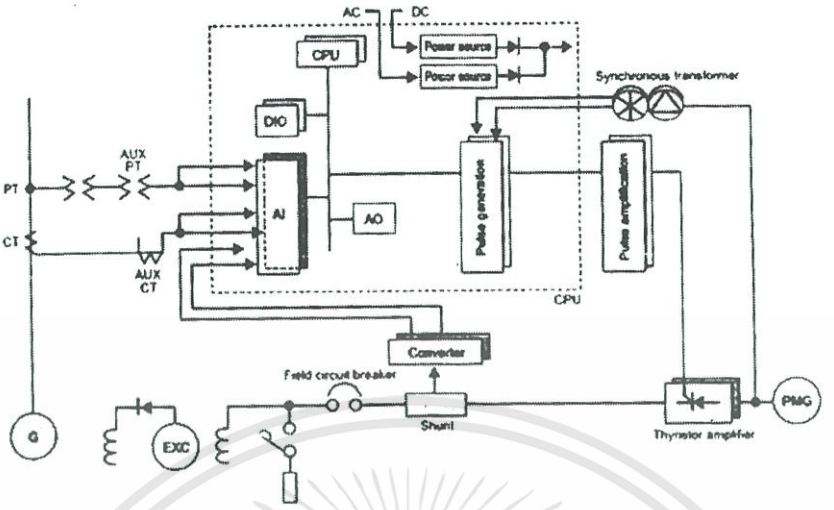
ในกรณีที่ Excitation ใช้แหล่งจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะเรียกว่า Shunt Excited Generator ถ้าเกิดค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตกลง (Transient Voltage Dip) เนื่องจากมีการเพิ่มค่าภาระไฟฟ้าปริมาณมาก (Block Loading หรือ Large Motor Starting) จะทำให้ Input Voltage ของ AVR เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

4. Brushless Excitation System

จะใช้ Permanent Magnet Generator (PMG) ที่มีแกนหมุนที่ต่อกับโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อป้อนพลังงานให้กับ Stationary Exciter Field ของ Rotating Exciter โดยมี AVR ช่วยควบคุม Firing Pulse ให้กับ Thyristor Gate ของ Full-Wave Thyristor Rectifier เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงตามรูปที่ 2.20 ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ Rotating Armature

เมื่อต่อวงจรผ่าน Rotating Three-Phase Bridge Rectifier ก็จะได้ Field Current สำหรับป้อนให้กับ Main Generator Field Windings โดยไม่ต้องใช้ Sliprings หรือ แปรงถ่าน (Brushes) การใช้ PMG เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับ Excitation System จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ แม้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 Brushless Excitation System [2]

ปริมาณความต้องการ Magnetizing Current ที่จะช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้คงที่นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าภาระไฟฟ้า (Loads) ด้วย เมื่อภาระไฟฟ้าเพิ่มขึ้นค่า Excitation ก็จะต้องเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ลักษณะของภาระไฟฟ้าก็จะมีผลต่อความต้องการ Excitation กล่าวคือ สำหรับภาระไฟฟ้าที่เป็น Reactive Lagging Power Factor จะต้องใช้ปริมาณ Excitation มากกว่าภาระไฟฟ้าที่เป็น Reactive Leading Power Factor

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าหลัก (Utility Grid) จะไม่สามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า (Terminal Voltage) ของตัวเองได้อีกต่อไป เนื่องจากระบบไฟฟ้าหลักจะเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันและความถี่ไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม Voltage Regulator ยังคงทำหน้าที่ควบคุมค่า Exciter Field อยู่

หลังจากขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว ถ้าเพิ่มค่า Exciter Field จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่าย Reactive Power (VAR) เข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลักได้ ในทางกลับกัน ถ้าลดค่า Exciter Field ก็จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับค่า Reactive power จากระบบไฟฟ้าหลัก

เนื่องจาก Field Windings มีค่า inductance ค่อนข้างสูง ทำให้ยากที่จะเปลี่ยนแปลงค่า Field Current ได้อย่างรวดเร็ว จึงเกิด Delay time ในการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า และทำให้ AVR พยายามจะเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เมื่อพบว่ายังมี Different Signal ที่เป็นค่าบวกอยู่ หรืออาจจะพยายามจะลดค่าแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เมื่อพบว่ายังมี Different Signal ที่เป็นค่าลบ ดังนั้น AVR ที่ดีควรจะมี Stabilizing Control Circuit เพื่อช่วยให้การควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นไปอย่างถูกต้องมากขึ้น

ระบบ Excitation ยังสามารถแบ่งตามเวลาการตอบสนองเป็น 2 รูปแบบคือ ระบบ Excitation แบบ Rotating และระบบ Excitation แบบ Static ซึ่งระบบ Excitation แบบ Rotating จะตอบสนองช้ากว่าระบบ Excitation แบบ Static ความเร็วของการตอบสนองของระบบ Excitation โดยปกติจะมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการตอบสนองทั่วไป ซึ่งความเร็วของการตอบสนองปกติอยู่ระหว่างช่วงเวลา 0.5 วินาทีเมื่อแรงดันที่ Terminal ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงร้อยละ 20 อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันทีทันใด โดยปกติระบบ Excitation แบบ Rotating จะมีการตอบสนองปกติของแรงดันของ Exciter อยู่ในช่วง 0.5 pu ถึง 1 pu โวลต์ต่อวินาที และระบบ Excitation แบบ Static โดยทั่วไปจะมีการตอบแบบปกติของแรงดันของ Exciter อยู่ในช่วง 2.5 puถึง 3.5 pu

2.7 Governor

การควบคุมความเร็วรอบของ Prime Mover ซึ่งมีแกนหมุนต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เรียกว่า Governor ซึ่งจะตรวจสอบค่าความเร็วรอบของโรเตอร์ โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Magnetic Pickup Unit (MPU) แล้วนำมาเปรียบกับ Referent Speed

ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่ได้ขนานวงจรกับแหล่งจ่ายไฟอื่นๆ หรือเป็น Isolated System ถ้าค่าความเร็วรอบที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิง Governor จะควบคุมให้เครื่องต้นกำลังเร่งความเร็วขึ้น และถ้าค่าความเร็วรอบที่ตรวจวัดได้มีค่ามากกว่าค่าอ้างอิง Governor จะควบคุมให้ค่าเครื่องต้นกำลังลดความเร็วลง

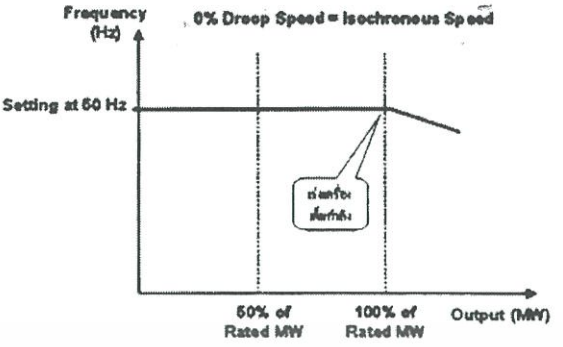
ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับค่าภาระไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่ไฟฟ้าลดลงชั่วขณะ กล่าวคือความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลังตกลงด้วย Governor จะตอบสนองโดยการควบคุมให้เครื่องต้นกำลังเร่งความเร็วขึ้น สำหรับ Hydro Power Generator การควบคุมความเร็วรอบจะทำได้โดยจาการควบคุมการเปิด Wicket Gate หรือ Needle Valve เพื่อควบคุมปริมาณน้ำหรือแรงดันที่ฉีดอัดกังหันน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่สำหรับ Steam Turbine Generator การควบคุมความเร็วรอบจะทำได้โดยการควบคุมการเปิด-ปิด Steam Regulation Valve เพื่อให้มีปริมาณไอน้ำที่ไหลเข้าเครื่องกังหันอยู่ในระดับที่เหมาะสม ส่วน Gas Turbine Generator จะสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้โดยการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าห้องเผาไหม้ (Combustor)

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขนานวงจรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าอื่นหรือขนานวงจรกับระบบไฟฟ้าหลับ (Utility Grid) เราสามารถเลือก Governor Function ในการควบคุมค่าความเร็วรอบของ Prime Mover ได้ 2 วิธี คือ

1.) Isochronous Speed Control

Isochronous Speed Controlคือ Mode การควบคุมของ Governor ซึ่งจะพยายามรักษาความเร็วรอบให้เท่ากับค่า Speed Reference (หรือ Frequency Reference) อยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าภาระไฟฟ้ามากหรือน้อยเพียงใด การเลือกใช้ Mode นี้ จะเหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่มีการขนานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ หรือให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่ Swing Bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

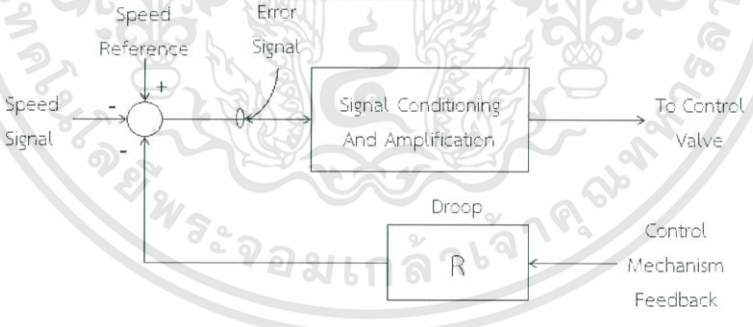


รูปที่ 2.21 การควบคุมความเร็วรอบแบบ Isochronous Speed [2]

อย่างไรก็ตามถ้ามีอุปกรณ์ควบคุมการแบ่งภาระไฟฟ้า (Load Sharing Controller หรือ Base Load Controller) จะทำให้ Governor สามารถควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้แบ่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Load Sharing) หรือจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าคงที่ (Base Load) ได้โดยรักษาความเร็วไว้ที่ Isochronous Speed อยู่ตลอดเวลา

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่าทันทีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า จะพยายามจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาตามค่าภาระไฟฟ้าที่มีอยู่ในขณะนั้น และไม่ว่าจะมีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นหรือลดลง Governor จะรักษาความเร็วรอบให้คงที่เสมอ เว้นแต่ค่าภาระไฟฟ้ามากเกินกว่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น

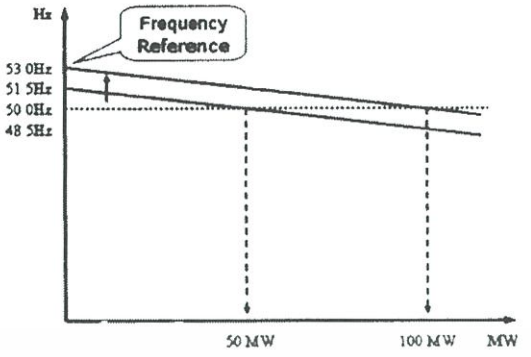
2. Speed Droop



รูปที่ 2.22 ลักษณะ Block Diagram ของ Droop Governor [2]

คือ Mode การควบคุมของ Governor ซึ่งจะลดค่า Speed ของเครื่องต้นกำลังลง เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับภาระไฟฟ้ามากขึ้น การควบคุมความเร็วรอบของ Prime Mover ในลักษณะเช่นนี้สามารถช่วยให้เกิด Stable Operation ได้ จากรูปที่ 2.23 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการกำหนดค่า 6% Droop และรับภาระไฟฟ้า 50MW ที่ความถี่คงที่เท่ากับ 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



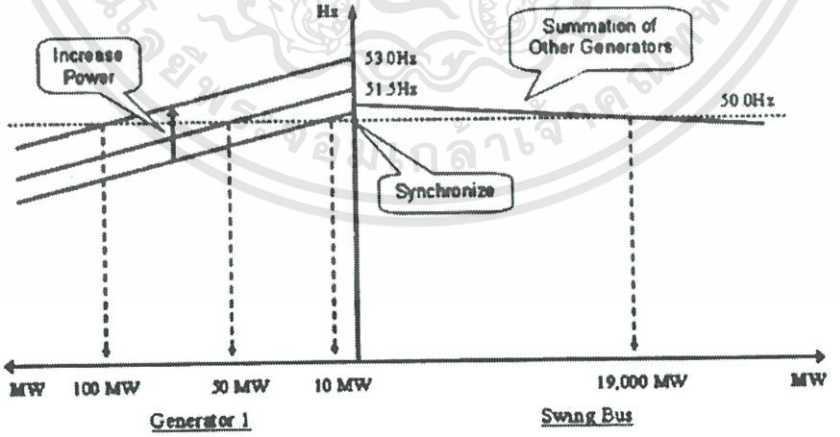
รูปที่ 2.23 การควบคุมความเร็วรอบแบบ Droop Speed [2]

ถ้าค่าภาระไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็น 100MW ค่าความถี่จะลดลงเป็น 48.5Hz แต่เมื่อเราปรับค่า Frequency Reference ของ Governor เป็น 53Hz จะทำให้ Droop Curve ยกตัวขึ้น และทำให้ความถี่ของระบบไฟฟ้ากลับไปที่ 50Hz เช่นเดิม

$$\%\text{Droop} = [(\text{Speed Droop NL to FL})/\text{Rated Speed}] \times 100\% \qquad (2.3)$$

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกขนานเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งมีคุณลักษณะเหมือน Swing Bus โดยกำหนดค่า Frequency Reference ไว้ที่ 50.3Hz เพื่อป้องกัน Reverse Power จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับภาระไฟฟ้าเท่ากับ 10MW และมีค่าความถี่ลดลงเป็น 50Hz ตามรูปที่ 2.24

หลังจากนั้น Governor จะควบคุมเครื่องต้นกำลังให้เพิ่มกำลังขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำให้ Droop Curve ถูกยกตัวขึ้นและทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนรับภาระไฟฟ้าเต็มพิกัด (Full Load) ที่ค่าความถี่ไฟฟ้าเท่ากับ 50Hz เช่นเดิม

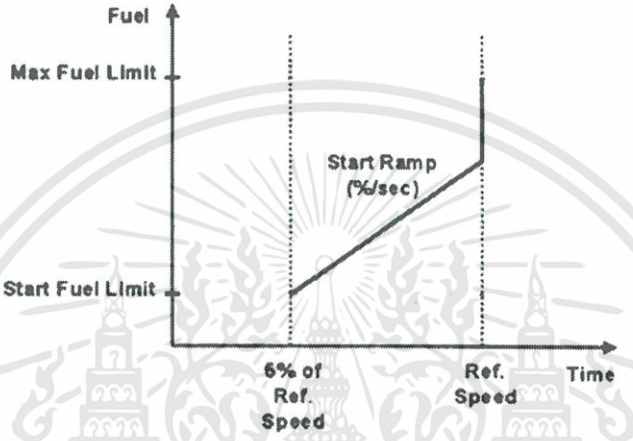


รูปที่ 2.24การแบ่งภาระไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขนานวงจรกัน [2]

ตามปกติโรงไฟฟ้าที่จะต้องขนานวงจรเพื่อจ่ายไฟฟ้าผ่านระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะเลือกใช้ Control Mode เป็นแบบ Droop ประมาณ 4-6% จากรูปที่ 2.24 จะเห็นว่าถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ความถี่ 50Hz และจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่หลังจากนั้น Operator หรือ Distributed Control System จะสั่งให้ Governor ปรับเพิ่มกำลังขับหมุนของ Prime Mover ตาม Start Ramp Rate และจะทำให้ค่าภาระไฟฟ้าถูกถ่ายโอนจาก Swing Bus มาให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงค่า Full Load ตามรูปที่ 2.25 เมื่อโรงไฟฟ้าต้องการหยุดเครื่อง Governor จะค่อยๆลดกำลังขับหมุนของ Prime Mover และจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าค่อยๆ รับภาระไฟฟ้าน้อยลง (Unloading) จนกระทั่งถึงค่า Minimum Load แล้วปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 2.25 การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงโดย Speed Governor [2]

2.8 ข้อกำหนดคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต[6-7]

เนื่องจากการไฟฟ้ากำหนดมาตรฐานการจ่ายไฟฟ้า และคุณภาพของไฟฟ้าให้กับลูกค้าของการไฟฟ้า ผู้ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจึงต้องออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ให้สามารถทนต่อสภาพและคุณภาพของระบบของการไฟฟ้าที่ได้กำหนดไว้ รวมถึงจะต้องไม่ทำให้ระดับคุณภาพไฟฟ้าด้อยลงเกินและเกินกว่าระดับที่กำหนด

2.8.1 ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้ากำหนดไว้กับลูกค้า

2.8.1.1 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อ

ในระบบของ กฟผ. ในสภาวะปกติระดับแรงดันไฟฟ้าจะถูกควบคุมไว้ที่ระดับไม่เกิน ± 5% ของ Nominal Voltage และในช่วงผิดปกติแรงดันไฟฟ้าอาจเบี่ยงเบนไปถึง ± 10%

ตารางที่ 2.1 ระดับแรงดันไฟฟ้าตามข้อกำหนดคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

สภาวะ	115 kV	69 kV	24 kV	12kV
ปกติ	113.0 - 118.0 kV	67.0 - 71.0 kV	21.8 - 23.6 kV	10.9 - 11.8 kV
ฉุกเฉิน	113.0 - 123.0 kV	67.0 - 72.5 kV	21.6 - 24.0 kV	10.8 - 12.0 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.2 ความถี่ของระบบ ในสภาวะปกติไม่เกิน 50 Hz ± 0.5 Hz ยกเว้นกรณีเกิดเหตุผิดปกติหรือเหตุฉุกเฉิน

2.8.1.3 แรงดันและกระแสผิดเพี้ยน (Voltage and current distortion) การไฟฟ้ากำหนดให้ลูกค้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายที่ใช้อุปกรณ์ที่เป็นชนิด Non-linear load ต้องควบคุม Harmonic distortion ไม่เกินระดับที่กำหนดเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับลูกค้ารายอื่นๆ

- **ขีดจำกัดของแรงดันฮาร์มอนิก** เป็นค่าขีดจำกัดของทั้งแต่ละอันดับและค่าความผิดเพี้ยนรวม (V_T) ที่ลูกค้าต้องไม่ทำให้แรงดันฮาร์มอนิก ที่จุดซื้อไฟเกินกำหนดดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันรวม V_T (%)	ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.4	5	4	2
11,12,22,24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 และมากกว่า	1.5	1	0.5

$$V_T = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{19}[V_n]^2}}{V_1} \times 100\% \qquad (2.4)$$

V_T = ค่าความเพี้ยนของแรงดันรวม V_T (%)

V_1 = แรงดัน Fundamental (ที่ความถี่ 50 Hz)

V_n = แรงดันฮาร์มอนิกอันดับที่ n

- **ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิก**เป็นค่าขีดจำกัดของแต่ละอันดับมีหน่วยเป็นแอมแปร์ที่ลูกค้าต้องไม่ทำให้กระแสฮาร์มอนิกที่จุดซื้อไฟไหลเข้าระบบของการไฟฟ้าเกินกำหนดดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3สำหรับขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่จุดต่อร่วม ยอมให้นำค่าความคลาดเคลื่อน 10% หรือ 0.5 แอมแปร์ (ค่าที่มากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง) มาใช้กับขีดจำกัดของกระแสแต่ละอันดับได้ไม่เกิน 2อันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขีดจำกัดค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	MVA_{SC} (Base)	อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.4	10	48	34	22	56	11	40	9	8	7
11,12	100	13	8	6	10	4	8	3	3	3
22,24,33	500	11	7	5	9	4	6	3	2	2
69	500	8.8	5.9	4.3	7.3	3.3	4.9	2.3	1.6	1.6
115 และมากกว่า	1,000	5	4	3	4	2	3	1	1	1

ตารางที่ 2.4 ขีดจำกัดค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม (ต่อ)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	MVA_{SC} (Base)	อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms)								
		11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.4	10	19	6	16	5	5	5	6	4	6
11,12	100	7	2	6	2	2	2	2	1	1
22,24,33	500	6	2	5	2	1	1	2	1	1
69	500	4.9	1.6	4.3	1.6	1	1	1.6	1	1
115 และมากกว่า	1,000	3	1	3	1	1	1	1	1	1

ค่าMVA_{SC}ที่จุดต่อร่วมคำนวณจากสมการดังนี้

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} V_{L-L} I_{SC} \tag{2.5}$$

V_{L-L} = แรงดันไฟฟ้า Line-to-line ที่จุดต่อร่วม [kV]

I_{SC} = กระแสไฟฟ้าลัดวงจรแบบ 3 เฟสที่จุดต่อร่วม [kA]

หากค่าMVA_{SC}ต่ำสุดที่จุดต่อร่วมมีค่าแตกต่างจากค่าMVA_{SC} *(Base)* ที่ระบุในตาราง ยอมให้ปรับค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบด้วยสมการ

$$I_h^1 = I_h \left(\frac{MVA_{SC}^1}{MVA_{SC}(Base)} \right) \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_h^1 = ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบเมื่อค่า MVA_{SC} เป็น MVA_{SC}^1[A]

I_h = ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h ที่กำหนดในตาราง [A]

MVA_{SC}^1 = ค่า MVA_{SC}ต่ำสุดที่จุดต่อร่วม มีค่าไม่เท่ากับค่า MVA_{SC} *(Base)* [MVA]

MVA_{SC} *(Base)* = ค่า MVA_{SC} *(Base)* สำหรับขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกในตาราง [MVA]

2.8.1.4 ความรุนแรงของไฟกระพริบ (Flicker) ลูกค้ารายที่มีการใช้อุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตที่มีผลทำให้เกิดไฟกระพริบต้องควบคุมไม่ให้เกินกำหนดดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ขีดจำกัดค่าความรุนแรงของไฟกระพริบ (รวมทั้งระดับค่าความรุนแรงของไฟกระพริบที่มีอยู่เดิม)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความรุนแรงของไฟกระพริบระยะสั้น (P_{st})	ค่าความรุนแรงของไฟกระพริบระยะยาว(P_{lt})
115 หรือต่ำกว่า	1.0	0.8
มากกว่า 115	0.8	0.6

P_{st} = ค่าที่ใช้ประเมินความรุนแรงของไฟกระพริบในช่วงเวลาสั้นๆ (10 นาที)

$$P_{st} = \sqrt[m]{(P_{st1})^m + (P_{st2})^m + (P_{st3})^m + \cdots + (P_{stn})^m} \quad (2.7)$$

ค่าของ m ขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งกำเนิดแรงดันกระเพื่อม โดยมีข้อแนะนำดังนี้

- m = 4 ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเตาหลอม
- m = 3 ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกือบทุกประเภทโดยคาดว่าโอกาสที่จะทำงานพร้อมกันมีน้อย
- m = 2 ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีโอกาสจะเกิดการทำงานพร้อมกันบ่อยครั้ง
- m = 1 ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานพร้อมกัน

P_{lt} = ค่าที่ใช้ประเมินความรุนแรงของไฟกระพริบในระยะยาว (2-3 ชั่วโมง)

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}[P_{stj}]^3} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N คือจำนวน P_{st} ในช่วงเวลาตรวจวัดปกติจะประมาณ 2 ชั่วโมงดังนั้น N = 12

2.8.2คุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้ากำหนดไว้สำหรับโรงไฟฟ้าที่ขนานเข้ากับระบบ

2.8.2.1 ผู้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าต้องรักษาแรงดันและความถี่ไม่ให้ด้อยกว่าหรือพยายามทำให้ดีกว่าข้อกำหนดของการไฟฟ้าในข้อ 2.8.1.1 และ 2.8.1.2

2.8.2.2 ผู้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าต้องสามารถรับหรือจ่าย Reactive power: Var ที่ 0.85 leadingและ 0.85 lagging เพื่อรักษาแรงดันที่จุดต่อเชื่อมและ/หรือจ่ายให้เหมาะสมกับความต้องการของ Var ในระบบจำหน่ายแต่ละช่วงเวลา

2.8.2.3 ผู้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าต้องรักษาแรงดันผิดเพี้ยนที่จุดต่อเชื่อมเข้าระบบการไฟฟ้าไม่ให้เกินข้อกำหนดของการไฟฟ้าในข้อ 2.8.1.3

2.8.2.4 ผู้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าต้องพยายามลดปริมาณกระแส Harmonic ที่ไหลเข้าระบบของการไฟฟ้าที่จุดต่อเชื่อมโดยควบคุมกระแส Harmonic ไม่ให้เกินกำหนดของการไฟฟ้าในข้อ 2.8.1.3

2.8.2.5 ผู้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าต้องพยายามลดระดับความรุนแรงของไฟกระพริบที่อาจเกิดจากการใช้อุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตตรงจุดต่อเชื่อมเข้าระบบของการไฟฟ้าไม่ให้เกินกำหนดในข้อ 2.8.1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองและการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วยโปรแกรม MATLAB

ในการสร้างแบบจำลองการทำงานนั้นเริ่มจากการศึกษาหลักการทำงาน ส่วนประกอบ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนจำนวน 1 หน่วยผลิตทำการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการนำมาจำลอง ได้แก่ เครื่องกำเนิดไอน้ำ, กังหันไอน้ำ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เครื่องควบคุมความเร็ว และ Exciter โดยในส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำนั้นจะเป็นการจำลองอย่างง่าย โดยถือว่าเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้ค่อนข้างคงที่ตลอดการทำงาน เพื่อลดความซับซ้อนของโมเดลที่ใช้ในการจำลอง จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลังแล้วทำการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่ออุปกรณ์แต่ละตัว เมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องในระบบ และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการไหลของกำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสไฟฟ้าในระบบ ความถี่ของไฟฟ้าในระบบ แรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการเปิด-ปิดของวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 โปรแกรม MATLAB

ในการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า ได้ใช้ซอฟแวร์ Simulink ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม MATLAB โดยการใช้รูปภาพแทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองการทำงานดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง

ในการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้มีการเลือกใช้อุปกรณ์และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง เป็นโมเดลอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยถือว่าเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้ค่อนข้างคงที่ตลอดการจำลอง โดยมีค่าความแปรปรวนของแรงดันเท่ากับ 0.001

2.เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในแบบจำลองเป็น Synchronous Generator แบบ Round Rotor ขนาด 600 MVA เป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้าโดยมีค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการจำลองดังตารางที่ 3.1

3.Power Transformer เป็นโมเดลของหม้อแปลงสำหรับแปลงแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.Excitation System เป็นโมเดลสำหรับสร้างแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็กให้กับ Synchronous Generator เพื่อให้แรงดันที่ขั้วของ Synchronous Generator มีค่าคงที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.3

5.Steam Turbine and Governor เป็นโมเดลที่จำลองสภาวะไดนามิคของระบบควบคุมความเร็วและกังหันไอน้ำ มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของ Synchronous Generator ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์ (Parameter)	ค่า (Value)
P_nNominal power (VA)	600,000,000
V_n Line-to-Line Voltage (Vrms)	22,000
F_n Frequency (Hz)	50
X_d Reactance (pu)	1.65
X'_d Reactance (pu)	0.25
X''_d Reactance (pu)	0.2
X_q Reactance (pu)	1.59
X'_q Reactance (pu)	0.46
X''_q Reactance (pu)	0.2
X_l Reactance (pu)	0.14
T_{do}' Time constant (s)	4.5
T_{do}'' Time constant (s)	0.04
T_{qo}' Time constant (s)	0.67
T_{qo}'' Time constant (s)	0.09
Rs Stator Resistance (pu)	0.003
H Inertia coefficient (s)	0.8788
F Friction factor (pu)	0
p Pole pairs	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของ Power Transformer ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์ (Parameter)	ค่า (Value)
LV Winding connection	Delta
HV Winding connection	Yg
P_n Nominal power (VA)	600,000,000
F_n Frequency (Hz)	50
V_1LV Winding Line-to-Line Voltage (Vrms)	22,000
R_1 LV Winding Resistance (pu)	0.0006
L_1 LV Winding Inductance (pu)	0
V_2 HV Winding Line-to-Line Voltage (Vrms)	500,000
R_2HV Winding Resistance (pu)	0.0006
L_2 HV Winding Inductance (pu)	0.12
R_m Magnetization Resistance (pu)	500
L_m Magnetization Inductance (pu)	500

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของ Excitation System ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์ (Parameter)	ค่า (Value)
T_r Low-pass filter time constant (s)	0.02
K_a Regulator gain	300
T_a Time constant (s)	0.001
K_e Exciter gain	1
T_e Exciter time constant (s)	0
T_b Transient gain reduction time constant (s)	0
T_c Transient gain reduction time constant (s)	0
K_f Damping filter gain	0.001
T_f Damping filter time constant (s)	0.1
Efmin Minimum regulator output limit (pu)	-4
Efmax Maximum regulator output limit (pu)	4
K_p Regulator output limit gain	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ของ Steam Turbine and Governor ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์ (Parameter)	ค่า (Value)
K_p Regulator gain	1
R_p Permanent droop (pu)	0.05
D_z Dead zone (pu)	0
T_{sr} Speed relay (s)	0.001
T_{sm} Servo-motor time constant (s)	0.15
vgmin Minimum gate opening speed (pu/s)	-0.1
vgmax Maximum gate opening speed (pu/s)	0.1
gmin Minimum gate opening (pu)	0
gmax Maximum gate opening (pu)	4.496
Nominal speed of synchronous machine (rpm)	3,000
T_2 First turbine stage time constant (s)	0
T_3 Second turbine stage time constant (s)	10
T_4 Third turbine stage time constant (s)	3.3
T_5 Forth turbine stage time constant (s)	0.5
F_2 Turbine torque fraction	0.5
F_3 Turbine torque fraction	0.5
F_4 Turbine torque fraction	0
F_5 Turbine torque fraction	0
H_2Coefficient of inertia (s)	1.5498
H_3 Coefficient of inertia (s)	0.24894
H_4 Coefficient of inertia (s)	0
H_5 Coefficient of inertia (s)	0
K_{12} Stiffness coefficient (pu/rad)	83.47
K_{23} Stiffness coefficient (pu/rad)	42.702
K_{34} Stiffness coefficient (pu/rad)	0
K_{45} Stiffness coefficient (pu/rad)	0
D_2 Damping factor (pu T/pudw)	2.4832
D_3 Damping factor (pu T/pudw)	0.4
D_4 Damping factor (pu T/pudw)	0
D_5 Damping factor (pu T/pudw)	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 แบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

3.1.2.1 แบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้ามีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.1 โดยได้ทำการเชื่อมต่อ Synchronous Generator พิกัด 600MVA 22kV 50Hz เข้ากับโมเดลของ Steam Boiler, Steam Turbine and Governor และ Excitation System เพื่อควบคุมระดับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้อยู่ที่พิกัด จากนั้นให้ Synchronous Generator จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

- ภาระไฟฟ้าภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า (Internal load) มีค่าประมาณ 5% ของพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นภาระไฟฟ้าที่เกิดจากอุปกรณ์ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า เช่น ระบบควบคุมของโรงต้นกำลังไฟฟ้า มอเตอร์สำหรับปั๊มน้ำเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ มอเตอร์สำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เป็นต้น

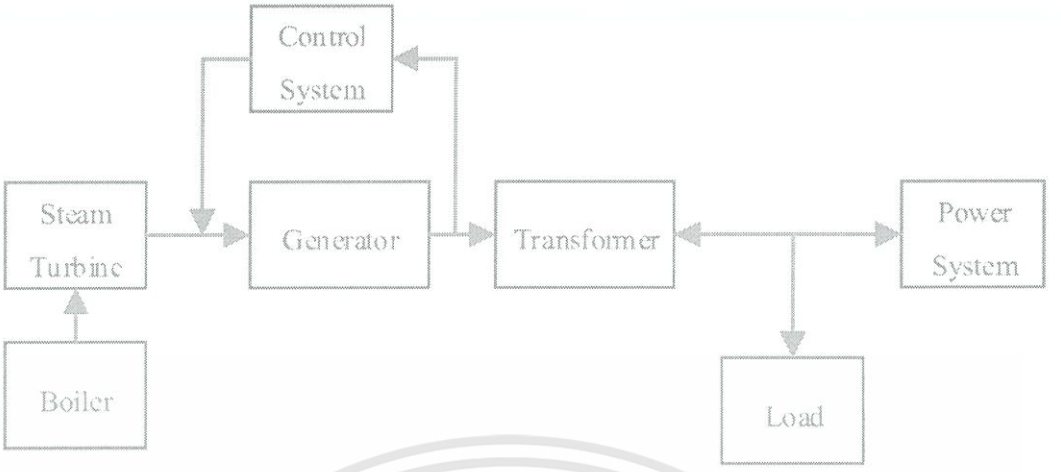
- ภาระไฟฟ้าภายนอกโรงต้นกำลังไฟฟ้า (External load) ซึ่งเป็นภาระไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลัง ถือเป็นภาระไฟฟ้าหลักของโรงต้นกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่โรงต้นกำลังไฟฟ้าผลิตได้จะถูกส่งภาระไฟฟ้าในกลุ่มนี้

ในการส่งกำลังไฟฟ้าของโรงต้นกำลังไฟฟ้าในแบบจำลองนี้ ใช้การเชื่อมต่อ Synchronous Generator เข้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าพิกัด 600MVA 22/500kV 50Hz ส่วนทางด้านแรงสูงของหม้อแปลงจะเชื่อมต่ออยู่กับภาระไฟฟ้าภายนอกและแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสขนาดใหญ่ เพื่อจำลองว่าเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงต้นกำลังไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต่อขนานอยู่ในระบบ

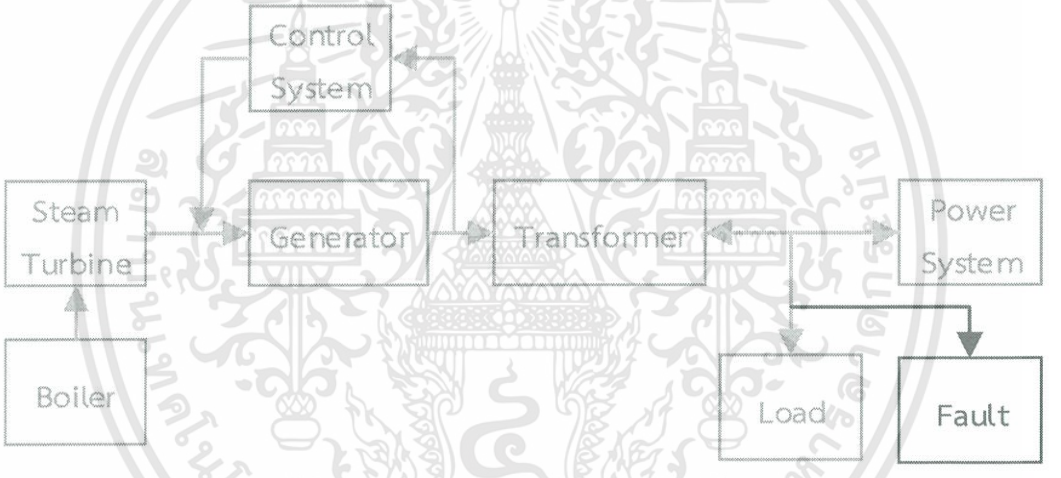
การจำลองการทำงานทำโดยการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าภายนอกที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโรงต้นกำลังไฟฟ้า

3.1.2.2 แบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องในระบบ มีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.2 โดยได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เช่นเดียวกับแบบจำลองในข้อ 3.1.2.1 แต่ได้ทำการจำลองว่า เกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโรงต้นกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

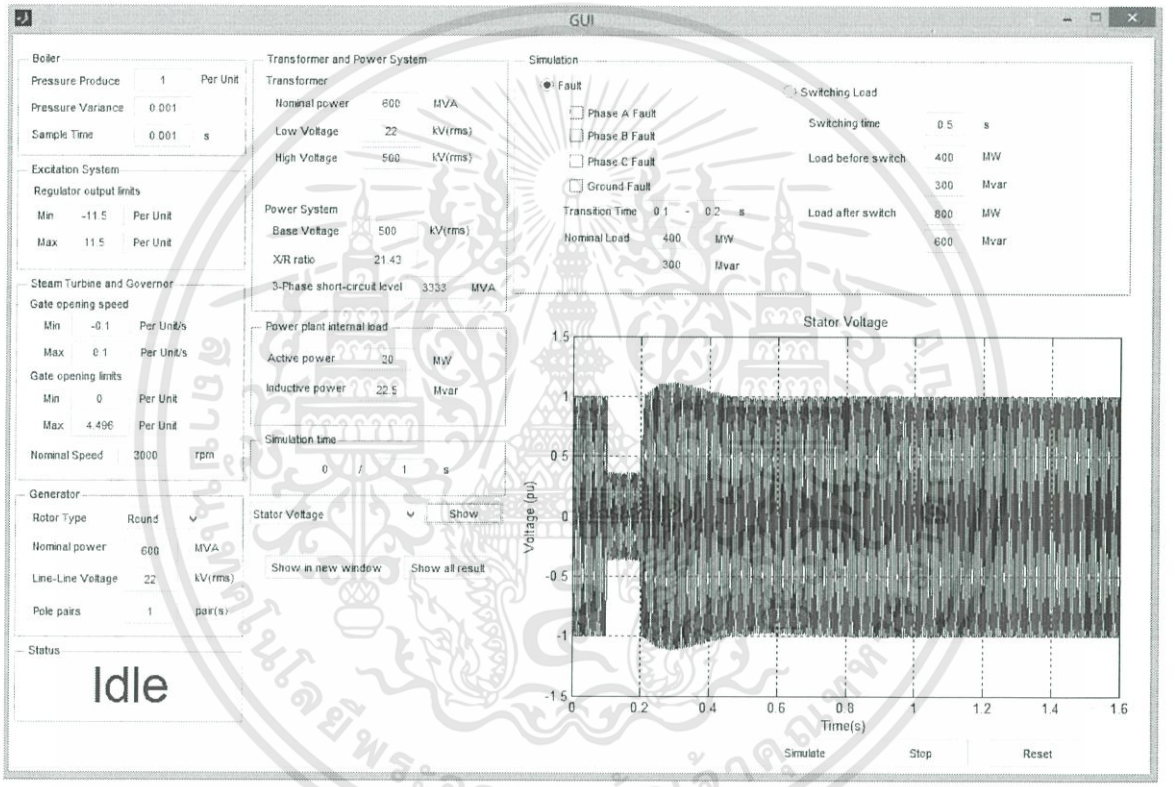


รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI)

แบบจำลองการทำงานนี้ได้สร้างขึ้นใน Simulink ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม MATLAB ซึ่งในแบบจำลองจะประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์จำนวนมาก ทำให้มีความซับซ้อนและยากต่อการใช้งาน ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้จึงถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยให้การตั้งค่าแบบจำลองสามารถทำได้ง่ายขึ้น โดยในส่วนต่อประสานงานกราฟฟิกกับผู้ใช้นี้ ผู้ใช้งานจะสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์หลักบางส่วนของโมเดลได้ แต่หากต้องการผลการจำลองที่มีความเที่ยงตรงสูง ผู้ใช้จำเป็นจะต้องเข้าทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านทาง Simulink



รูปที่ 3.3ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าและเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ จะทำการแยกวิเคราะห์ในประเด็นต่างๆ ดังนี้

3.2.1 การศึกษาระบบในสภาวะคงตัว (Steady State Study)

การศึกษาในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบทางสภาวะคงตัวในด้านต่างๆ ดังนี้

- การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ

เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบดังนั้นระบบExcitation System ซึ่งควบคุมแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็กของ Synchronous Generator จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบ ทั้งนี้การศึกษาผลกระทบทางด้านแรงดันไฟฟ้าจะกำหนดสภาวะปกติของระบบอยู่ในช่วง 0.95-1.05 puตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ดังนั้นผลการวิเคราะห์ระบบที่แรงดันเกินกว่า 1.05 puจะเรียกว่า “สภาวะแรงดันเกิน” และระบบที่แรงดันต่ำกว่า 0.95 puจะเรียกกว่า “สภาวะแรงดันตก”

- การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านกระแสไฟฟ้าภายในระบบ

การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าย่อมส่งผลกระทบต่อค่ากระแสไฟฟ้าภายในระบบ หากมีการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้าในปริมาณมาก จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลมากขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการทำงานเกินพิกัดของอุปกรณ์หรือการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน

- การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความถี่ไฟฟ้า

ค่าความถี่ไฟฟ้าในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของ Synchronous Generator เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อแรงบิดของ Synchronous Generator ทำให้ความเร็วรอบเกิดการเปลี่ยน ซึ่งจะส่งผลต่อความถี่ไฟฟ้าของระบบ ดังนั้นระบบ Steam Turbine and Governor จึงเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมความถี่ไฟฟ้า ทั้งนี้การศึกษาผลกระทบทางด้านความถี่ไฟฟ้าจะกำหนดสภาวะปกติของระบบอยู่ในช่วงความถี่ 49.5-50.5 Hz ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ดังนั้นผลการวิเคราะห์ระบบที่มีความถี่เกินกว่า 50.5 Hz จะเรียกว่า “สภาวะความถี่เกิน” และระบบที่มีความถี่ต่ำกว่า 49.5 Hz จะเรียกว่า “สภาวะความถี่ต่ำ”

3.2.2 การศึกษาระบบในสภาวะพลวัตน์(Dynamic State Study)

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าหรือเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ ในช่วงก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ อย่างมาก อุปกรณ์บางส่วนอาจต้องทำงานเกินพิกัดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจสร้างความเสียหายกับอุปกรณ์และระบบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบในส่วนนี้ ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์ในสภาวะพลวัตน์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านแรงดันและกระแสไฟฟ้า

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าจะทำให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยแรงดันไฟฟ้าจะเกิดการกระเพื่อมของแรงดันขึ้นในระบบ และในส่วนของกระแสจะเกิดกระแสพุ่งเกิน (Inrush Current) ขึ้นในระบบ การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ หากมีค่าสูงมากเกินไปอาจสร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์ในระบบได้

นอกจากนี้การวิเคราะห์ระดับกระแสไฟฟ้าขณะเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบก็ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากขณะเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นนั้นกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีความรุนแรงสูง อาจสร้างความเสียหายให้แก่อุปกรณ์และภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบได้ การวิเคราะห์ระดับกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบป้องกันต่อไป

- การวิเคราะห์ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า

ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมหลายชนิด เพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะปกติ การวิเคราะห์ผลกระทบต่ออุปกรณ์เหล่านี้เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อแรงดันและความถี่ไฟฟ้าขึ้น จะช่วยให้สามารถทราบพฤติกรรมของอุปกรณ์และโรงต้นกำลังไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

จากการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าและการเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบย่อมส่งผลกระทบในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสภาวะคงตัวและสภาวะพลวัตน์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยผลการศึกษาทั้งหมดจะแสดงไว้ดังต่อไปนี้

วิเคราะห์ผลกระทบทางสภาวะคงตัว (Steady State)

1. การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านปัญหาแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ
2. การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการเกิดกระแสลัดวงจร
3. การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความถี่ไฟฟ้า

วิเคราะห์ผลกระทบทางสภาวะพลวัตน์(Dynamic State)

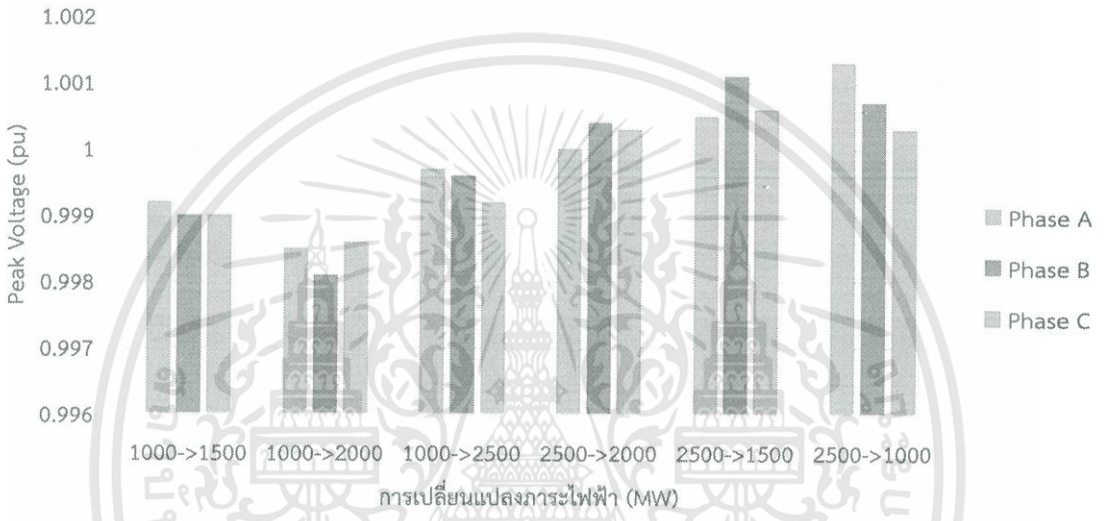
1. การเปรียบเทียบค่าแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆ
2. การเปรียบเทียบการเกิดการกระเพื่อมของแรงดันเมื่อเปลี่ยนขนาดของภาระไฟฟ้า
3. การวิเคราะห์ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า

รายละเอียดของตารางบันทึกผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษาสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านปัญหาแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ

จากผลการจำลองพบว่าเมื่อทำการจำลองให้เกิดการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้าจาก 1,000 MW เป็น 1,500 MW, 1,000 MW เป็น 2,000 MW และ1,000 MW เป็น 2,500 MW รวมถึงทำการจำลองให้เกิดการลดลงของภาระไฟฟ้าจาก 2,500 MW เป็น 2,000 MW, 2,500 MW เป็น 1,500 MW และ 2,000 MW เป็น 1,000 MW พบว่า ไม่พบปัญหาด้านแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบอยู่ในช่วง 0.95-1.05 pu ซึ่งแสดงได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าแรงดันพีคในสภาวะคงตัว เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการเกิดกระแสลัดวงจร

ชนิดของกระแสลัดวงจรที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดผลกระทบที่แตกต่างกัน ซึ่งค่ากระแสลัดวงจรย่อมมีความสำคัญต่อการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อทำการป้องกันระบบจากสภาวะผิดพร่องของระบบ

ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสลัดวงจรจากความผิดพร่องภายในระบบชนิดต่างๆ

Phase	ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ (kA)			
	Single line to ground Fault (Phase A)	Line to Line Fault (Phase A&B)	Double line to ground Fault (Phase A&B)	3 Phase Fault
Phase A	88.0628	61.0903	82.4833	124.4924
Phase B	89.9477	125.9982	125.8386	125.5569
Phase C	9.8779	64.9079	60.7192	69.5353

4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความถี่ไฟฟ้า

จากผลการจำลองการทำงานเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบพบว่า ทันทีที่เกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ ความถี่ไฟฟ้าจะลดลงอย่างมาก โดยที่ความผิดพร่องชนิด 3 เฟสจะทำให้ความถี่ไฟฟ้าลดลงมากที่สุด หลังจากนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะปกติความถี่ไฟฟ้าจะค่อยๆ เข้าสู่เสถียรภาพอย่างช้าๆ

ตารางที่ 4.2 ค่าความถี่ไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบไฟฟ้า

ค่าที่ได้จากการจำลอง	ค่าความถี่จาก Fault ชนิดต่างๆ (Hz)			
	Single line to ground Fault (Phase A)	Line to Line Fault (Phase A&B)	Double line to ground Fault (Phase A&B)	3 Phase Fault
ค่าสูงสุด	50.2687	50.2873	50.3521	50.4135
ค่าต่ำสุด	49.5929	49.5270	49.5230	49.4487

จากผลการจำลองการทำงานเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าพบว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อค่าความถี่ไฟฟ้า โดยที่การเปลี่ยนแปลงของภาระไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบต่อความถี่ไฟฟ้ามากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ค่าความถี่ไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดภาระไฟฟ้า

ค่าที่ได้จากการจำลอง	ค่าความถี่จากการเปลี่ยนแปลงขนาดภาระไฟฟ้า (Hz)					
	1000 => 1500 (MW)	1000 => 2000 (MW)	1000 => 2500 (MW)	2500M=>1000 (MW)	2500=>1500 (MW)	2500=>2000 (MW)
ค่าสูงสุด	50.1070	50.2077	50.2927	50.3804	50.2312	50.1080
ค่าต่ำสุด	49.8320	49.6938	49.5721	49.5905	49.7628	49.8839

4.4 การเปรียบเทียบค่าแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆ

เมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าจะส่งผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตก ซึ่งความรุนแรงของความผิดพร่องจะส่งผลโดยตรงต่อระดับแรงดัน หากความผิดพร่องที่เกิดขึ้นนั้นมีความรุนแรงสูงก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกลงมาก ซึ่งเห็นได้จากความผิดพร่องชนิด 3 เฟสจะทำให้เกิดค่าแรงดันตกมากที่สุด

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆ ขึ้นในระบบ

Phase	ค่าแรงดันจาก Fault ชนิดต่างๆ (pu)							
	Single line to ground Fault (Phase A)		Line to Line Fault (Phase A&B)		Double line to ground Fault (Phase A&B)		3 Phase Fault	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
Phase A	1.1065	0.6610	1.1085	0.8824	1.1124	0.6537	1.1135	0.3684
Phase B	1.1084	0.6766	1.1102	0.3766	1.1118	0.3728	1.1133	0.3675
Phase C	1.1090	0.9986	1.1106	0.8814	1.1123	0.6477	1.1153	0.3649

4.5 การเปรียบเทียบการเกิดการกระเพื่อมของแรงดันเมื่อเปลี่ยนขนาดของภาระไฟฟ้า

จากการจำลองการทำงานเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าพบว่า ส่งผลกระทบแรงดันไฟฟ้าของระบบ ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันในช่วงสภาวะพลวัตน์ จากผลการจำลองสังเกตได้ว่า การเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันที่มาก

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า

Phase	ค่าแรงดันจากการเปลี่ยนแปลงขนาดภาระไฟฟ้า (pu)											
	1000 => 1500 (MW)		1000 => 2000 (MW)		1000 => 2500 (MW)		2500M=>1000 (MW)		2500=>1500 (MW)		2500=>2000 (MW)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
Phase A	1.0104	0.9522	1.0189	0.9111	1.0255	0.8730	1.0279	0.8664	1.0245	0.9087	1.0125	0.9568
Phase B	1.0102	0.9528	1.0183	0.9104	1.0250	0.8701	1.0279	0.8656	1.0244	0.9090	1.0121	0.9539
Phase C	1.0101	0.9515	1.0179	0.9076	1.0256	0.8674	1.0280	0.8643	1.0242	0.9080	1.0119	0.9559

4.6 การวิเคราะห์ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า

จากผลการจำลองทั้งการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าและเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบพบว่า ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันดังนี้

- ผลกระทบต่อExciter

Exciter ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้คงที่โดยการควบคุมประมาณแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเมื่อแรงดันของระบบลดลง Exciter จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสนามเพื่อเพิ่มแรงดันของระบบให้เข้าสู่สภาวะปกติ ในทางตรงกันข้ามหากแรงดันไฟฟ้าของระบบพุ่งสูงเกินกว่าระดับปกติ Exciter จะลดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสนามลง เพื่อลดแรงดันให้เข้าสู่สภาวะปกติเช่นกัน

- ผลกระทบต่อวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำ

วาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำทำหน้าที่ควบคุมปริมาณไอน้ำที่ไหลเข้าสู่กังหันไอน้ำให้มีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อรักษาความเร็วรอบของกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากความเร็วรอบมีผลโดยตรงต่อความถี่ไฟฟ้า โดยเมื่อความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าปกติ วาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำจะเปิดกว้างขึ้นเพื่อเพิ่มความเร็วรอบให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในทางตรงกันข้ามหากความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงเกินกว่าปกติวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำจะหรี่แคบลง เพื่อลดปริมาณไอน้ำและความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลกระทบต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องขึ้นในระบบ

จากการศึกษาเมื่อเกิดสภาวะผิดพร่องในระบบไฟฟ้าพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของความผิดพร่องและเฟสที่เกิดความผิดพร่อง หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะปกติค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะกลับเข้าสู่ค่าปกติอย่างรวดเร็ว แต่ในส่วนของความถี่ไฟฟ้าและค่าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันไม่ว่าจะเกิดความผิดพร่องชนิดใด คือค่าความถี่ไฟฟ้าจะเกิดการแกว่งและจะกลับสู่สภาวะปกติอย่างช้าๆ ส่วนค่าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก ในช่วงที่เกิดสภาวะผิดพร่องจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นจนถึงพิกัดสูงสุด เพื่อพยายามรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะปกติจะมีค่าลดลงและเข้าสู่สภาวะปกติ

5.1.1 เปรียบเทียบขนาดกระแสขณะเกิดการลัดวงจร

จากผลการจำลองพบว่า ขนาดของกระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับชนิดของการลัดวงจร ขนาดของแรงดัน และค่า Sequence Impedance ของทั้งแหล่งกำเนิดและสายส่ง โดยสามารถเรียงลำดับความรุนแรงของกระแสลัดวงจรได้เป็น Three Phase Fault > Double line to ground > Line to line fault > Single line to ground

5.1.2 เปรียบเทียบปัญหาแรงดันตกเมื่อเกิดการลัดวงจร

จากการจำลองการทำงาน พบว่า ปัญหาแรงดันตกจะขึ้นอยู่กับชนิดของการลัดวงจรและขนาดของกระแสลัดวงจร เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าที่จำกัด ดังนั้นเมื่อเกิดการลัดวงจรที่รุนแรงกระแสลัดมีค่าสูง จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงอย่างมาก โดยสามารถเรียงลำดับปัญหาแรงดันตกได้ตามความรุนแรงของกระแสลัดวงจรคือ Three Phase Fault > Double line to ground > Line to line fault > Single line to ground

5.2 ผลกระทบต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า

จากการศึกษาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่า ขนาดของภาระไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อการกระเพื่อมของแรงดัน หากขนาดของภาระไฟฟ้ามีขนาดไม่ใหญ่เพียงพอจะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้า ในส่วนของกระแสไฟฟ้าจะเกิดสภาวะชั่วครู่ขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า ในช่วงสภาวะนี้ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็วขึ้นอยู่กับลักษณะของการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าต่อมากระแสไฟฟ้าจะค่อยๆเข้าสู่เสถียรภาพอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าและในภาระไฟฟ้า หลังจากระบบเข้าสู่เสถียรภาพแล้วกระแสไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ ในส่วนของความถี่ไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าจะเกิดการแกว่งและเข้าสู่เสถียรภาพอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับการจำลองการเกิดสภาวะผิดพร่องในระบบ และสุดท้ายค่าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก พบว่าจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าเพื่อรักษาระดับแรงดันและมีค่าลดลงอย่างช้าๆ ก่อนจะเข้าสู่เสถียรภาพและมีค่าคงที่ในเวลาต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 เปรียบเทียบการเกิดแรงดันกระเพื่อมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าจะเกิดผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าของระบบ ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน การกระเพื่อมของแรงดันจะขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของภาระไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันที่มากซึ่งสามารถเรียงลำดับแรงดันกระเพื่อมได้เป็น 2,500 เป็น 1,000 MW > 1,000 เป็น 2,500 MW > 2,500 เป็น 1,500 MW >1,000 เป็น 2,000 MW > 2,500 เป็น 2,000 MW >1,000 เป็น 1,500 MW ตามลำดับ

5.2.2เปรียบเทียบผลกระทบทางด้านความถี่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อค่าความถี่ไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าที่มากจะส่งผลกระทบต่อความถี่ไฟฟ้าของระบบอย่างมาก ในขณะเดียวกันหากขนาดของภาระไฟฟ้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมีขนาดเล็กก็จะส่งผลต่อความถี่ไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่ส่งผลกระทบเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] จุลละพงษ์ จุลละโพธิ, **วิศวกรรมพลังไอน้ำ**, พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ :งานเอกสารและการพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] จารุวัฒน์ ขาวปั้น และคณะ, "การออกแบบโรงจักรไฟฟ้าพลังงานชีวมวลแบบเผาไหม้โดยตรง," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,** สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553.

[3] Available online at: http://www.egat.co.th

[4] Available online at: http://www2.dede.go.th/kmmf/download/นวัตกรรม/สวค/คู่มือพลังงานชีวมวล.pdf

[5] Available online at: http://protectionrelay.blogspot.com/2010/11/generator-excitation.html

[6] Available online at: http://www.ppa.egat.co.th/Sppx/file/GidCode/ข้อกำหนดเกี่ยวกับการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า.pdf

[7] Available online at: http://www.ppa.egat.co.th/Sppx/file/GidCode/ข้อกำหนดเกี่ยวกับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า

ของ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ธันวาคม 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPP Grid Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

หลักเกณฑ์การต่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบเชื่อมโยงของ Small Power Producer เข้าระบบของการไฟฟ้าเป็นเอกสารที่ประกอบด้วยหลักเกณฑ์ทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบเชื่อมโยง การหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษา การประสานงานในการเดินเครื่อง ขอบเขตความรับผิดชอบทางด้านเทคนิคของการไฟฟ้า และบริษัท ฯ รวมทั้งเงื่อนไขอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการสั่งการเดินเครื่องและการหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPP Grid Code

1. คำจำกัดความ

2. ข้อมูลก่อนการเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้า

    Generator parameter

    Machine parameter

    Transformer parameter

    เชื้อเพลิง

3. ขั้นตอนการประสานงาน

    กำหนดการบำรุงรักษา

        แผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้า

        แผนการบำรุงรักษา 1 - 3 ปี

        แผนการบำรุงรักษารายเดือน

        แผนการบำรุงรักษารายสัปดาห์

        แผนการบำรุงรักษารายวัน

    แผนการผลิต

    การประสานงานด้านความปลอดภัย

    แผนการปฏิบัติงานเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินในระบบ

    คุณภาพไฟฟ้าและความมั่นคงในการจ่ายไฟ

    ข้อบังคับต่างๆ

4. แผนการเดินเครื่อง

    แผนรายเดือน

    แผนเพิ่มเติม

    การผลิตไฟฟ้าในรอบเดือน

5. การติดต่อสื่อสาร

6. การปรับปรุงและแก้ไข SPP Grid Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำจำกัดความ

การหยุดเครื่อง (Outage) คือ การที่บริษัทฯ ขอหยุดเครื่องหรือลดกำลังผลิตลงเพื่อตรวจสอบบำรุงรักษาเครื่องหรืออุปกรณ์และระบบส่งซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของบริษัทฯ แบ่งเป็น

ก) หยุดเครื่องตามแผนรายปี (Planed Outage) คือ การหยุดเครื่องที่มีการจัดทำแผนแจ้งล่วงหน้าเป็นรายปี

ข) หยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance Outage) คือ การหยุดเครื่องที่ไม่ได้กำหนดไว้ในแผนรายปีแต่มีการแจ้งล่วงหน้าตามข้อกำหนดที่ 3.1.6 และ 3.1.7

คุณภาพไฟฟ้า (Quality of Supply) คือ คุณภาพไฟฟ้าของระบบที่การไฟฟ้าควบคุมและให้สัญญาไว้กับลูกค้าส่วนหนึ่ง และคุณภาพไฟฟ้าซึ่งบริษัทฯ ต้องควบคุมให้สอดคล้องกับคุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้ากำหนดตามข้อ 3.5 เมื่อต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ทั้งนี้อุปกรณ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของบริษัทฯ จะต้องทนต่อสภาพคุณภาพไฟฟ้าตามที่ได้กำหนดเช่นกัน

เหตุฉุกเฉิน คือ เหตุการณ์ที่ทำให้ การไฟฟ้า ไม่สามารถควบคุมระบบให้อยู่ในสภาพปกติได้ เช่น

ก) เหตุการณ์ซึ่งทำให้ความถี่ในระบบสูงกว่า 50.75 Hz หรือ ต่ำกว่า 49.25 Hz

ข) เหตุการณ์ที่ทำให้แรงดันสูง หรือ ต่ำกว่าแรงดันปกติ ณ จุดต่อเชื่อม เกินกว่า± 10 ทั้งนี้ในกรณีที่มีเหตุผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า ค่าระดับแรงดันที่จุดเกิดเหตุการณ์อาจมีค่าลดลงถึง 0 KV ตั้งแต่ครึ่งไซเคิลจนถึงไม่กี่วินาที เนื่องจากการเดินเครื่องของมอเตอร์ หรือโหลดขนาดใหญ่ หรือเกิดความผิดพร่อง (Fault) ในระบบไฟฟ้าจนกว่าเหตุการณ์ผิดปกตินั้นจะได้รับการแก้ไข

ค) เหตุการณ์ที่ทำให้สายส่ง Over Load

แผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้า (Maintenance Cycle) คือ แผนบำรุงรักษาอุปกรณ์ตลอดอายุการใช้งานที่บริษัทฯต้องแจ้งให้ กฟผ. ทราบ ก่อนวันกำหนดเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า โดยแผนดังกล่าวจะต้องระบุรายละเอียดของการบำรุงรักษาว่าเป็นชนิดใดและระบุระยะเวลาในการบำรุงรักษาไว้ชัดเจน โดยจำนวนปีที่มีการแจ้งซ่อมใหญ่ (Major Overhaul) ต้องมีความถี่ไม่เกิน 2 ปีในรอบ 4 ปี และกรณีที่มีการซ่อมใหญ่ 2 ปีในรอบ 4 ปี จำนวนวันที่ทำการบำรุงรักษาใน 2 ปีดังกล่าวรวมกันต้องไม่เกิน 80 วัน โดยแต่ละปีที่มีการซ่อมใหญ่จะใช้จำนวนวันที่ทำการบำรุงรักษาในปีนั้นไม่เกิน 45 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการบำรุงรักษา 1-3 ปี (Planned Outage) คือ แผนที่บริษัท ฯ ได้แจ้งล่วงหน้าให้ กฟผ. ทราบล่วงหน้าถึงกำหนดการบำรุงรักษาในช่วงระยะเวลา 1-3 ปี ตามที่ระบุในแผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้า โดยหากมีการแก้ไขจะต้องแจ้งกำหนดตามแผนบำรุงรักษารายเดือน อย่างไรก็ตามในกรณีที่แผนซ่อมใหญ่มีจำนวนครั้งมากกว่าแผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้าที่ได้แจ้งไว้ บริษัทฯสามารถดำเนินการได้เฉพาะกรณีที่พิสูจน์ได้ว่ามีสาเหตุมาจากการไฟฟ้า

2. ข้อมูลก่อนการเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้า

เพื่อให้เกิดความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า บริษัทฯ จะต้องส่งข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ที่จะต่อเชื่อมเข้าระบบของการไฟฟ้าเพื่อให้การไฟฟ้าพิจารณา เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ข้อมูลระบบส่งเชื่อมโยงจากโรงไฟฟ้าจนถึงจุดต่อเชื่อมเข้าระบบของการไฟฟ้า

ข้อมูลที่ต้องจัดส่งให้มีรายละเอียดดังนี้

ก) Generator

Type ☐ round rotor ☐ salient pole

Number of Poles

Speed (RPM)

kV Rating

MW Rating

KVA Rating

Armature Amp. (A)

Armature Voltages (KV)

Field Currents (A)

Exciter Voltages (V)

Power Factor

Capability Curve

ข) ข้อมูลของ Generator เพื่อการศึกษา Dynamic Simulation เช่น

H = inertia constant of the machine

D = Damping constant of the machine

Xd = direct-axis reactance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X'd = direct-axis transient reactance

X"d = direct-axis subtransient reactance

Xq = quadrature-axis reactance

X'q = quadrature-axis transient reactance

X"q = quadrature-axis subtransient reactance

Xl = leakage reactance

T'do = direct-axis open circuit transient time constant

T"do = direct-axis open circuit subtransient time constant

T'qo = quadrature-axis open circuit transient time constant

T"qo = quadrature-axis open circuit subtransient time constant

S (1.0) = saturation factor at 1.0 p.u. terminal voltage

S (1.2) = saturation factor at 1.2 p.u. terminal voltage

ค) ข้อมูลของ Turbine Governor และ Excitation System ที่แสดงเป็น block diagram และ แสดง ค่า Parameters ในรูปแบบของ IEEE Standard

ง) Unit Transformer Ratings / Features / ข้อมูลบน Name Plates

จ) ชนิดของเชื้อเพลิงที่เป็น Primary Fuel และ Back Up Fuel (ถ้ามี)

ฉ) ข้อมูลระบบเชื่อมโยง

- แรงดันออกแบบ
- ขนาดของสายตัวนำ
- ชนิดของลูกถ้วย (Insulator)
- อุปกรณ์เพิ่มกำลัง Var.
  - MVAR ของ Capacitor
  - MVAR ของ Shunt Reactor

ช) ข้อมูลคุณลักษณะของอุปกรณ์ของลูกค้าบริษัทฯ ที่อาจมีผลทำให้ระดับคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ณ จุดเชื่อมโยง

3. กำหนดขั้นตอนการประสานงาน

3.1 ขั้นตอนการประสานงาน เรื่องการบำรุงรักษา

3.1.1 จุดประสงค์

เพื่อให้เกิดการประสานงานด้านการผลิตที่ดีระหว่าง กฟผ. กับบริษัทฯจึงกำหนดขั้นตอนและรายละเอียดไว้เพื่อให้บริษัทฯทราบถึงวิธีจัดส่งข้อมูลแผนและระยะเวลาที่จะขอดำเนินการบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าและระบบเชื่อมโยงของบริษัทฯให้กับ กฟผ. เพื่อ กฟผ. สามารถนำมาพิจารณาจัดทำแผนหยุดเครื่องให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับการขอซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้าอื่นๆ โดย กฟผ. จะคำนึงถึงความมั่นคงของระบบไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้าของระบบ และมีกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองเพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้า

3.1.2 การแจ้งแผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้า (Maintenance Cycle)

บริษัทฯจะต้องแจ้งแผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้า และรายละเอียดของวัน เวลา ที่บริษัทฯ จะทำการบำรุงรักษาโดยมีระยะเวลา 3 ปีล่วงหน้าก่อนวันเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 30 วัน และ กฟผ. จะแจ้งผลการพิจารณาให้บริษัทฯทราบภายใน 15 วัน หลังจากวันที่ได้รับแจ้ง ทั้งนี้ กฟผ. จะถือว่าแผนบำรุงรักษาที่ กฟผ. พิจารณาแล้วนั้นเป็นแผนการบำรุงรักษาตลอดอายุโรงไฟฟ้า

3.1.3 การแจ้งแผนการบำรุงรักษา 1-3 ปี

ก่อนวันที่ 1 ตุลาคม ของทุกปี บริษัทฯ จะต้องแจ้งกำหนดการบำรุงรักษาที่คาดว่าจะทำในแต่ละปีตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 3.1.2 ล่วงหน้า 3 ปี ให้ กฟผ. โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) กำลังผลิตพร้อมจ่ายให้ กฟผ.
ข) ช่วงเวลาที่ต้องการจะเริ่มหยุดและจำนวนวันที่หยุดเครื่อง
ค) ช่วงเวลาอื่นถ้า กฟผ. ไม่สามารถจัดแผนให้หยุดได้ตามที่เสนอในข้อ ข.

กรณีที่บริษัทฯ ไม่ประสงค์จะเปลี่ยนแปลงแผนการบำรุงรักษา ขอให้บริษัทฯ แจ้งยืนยันแผนบำรุงรักษาเดิมมายัง กฟผ.

3.1.4 ขั้นตอนการพิจารณากำหนดแผนบำรุงรักษารายปีของ กฟผ.

ก่อนวันที่ 1 พฤศจิกายน กฟผ. จะแจ้งผลการพิจารณาแผนบำรุงรักษาราย 1-3 ปี ให้บริษัทฯ ทราบ โดยพิจารณาจากความต้องการใช้ไฟฟ้าประกอบกับข้อจำกัดอื่นที่มีผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้า โดยจะพยายามให้ทุกโรงไฟฟ้าสามารถหยุดบำรุงรักษาตามแผนที่บริษัทฯ เสนอมา แต่หาก กฟผ. ไม่สามารถให้บริษัทฯ หยุดเครื่องตามเวลาที่บริษัทฯ แจ้งมาได้ กฟผ. จะเสนอช่วงเวลาอื่นที่เหมาะสมให้บริษัทฯ พิจารณา

หากบริษัทฯ พิจารณาว่าช่วงเวลาที่ กฟผ. เสนอนั้นไม่สามารถทำได้ บริษัทฯจะต้องติดต่อ กฟผ. เพื่อพิจารณาร่วมกันก่อนวันที่ 15 พฤศจิกายน โดยคำนึงถึงความมั่นคงของระบบไฟฟ้าเป็นหลัก

3.1.5 แผนบำรุงรักษารายเดือน

ภายหลังจากที่ กฟผ. ได้กำหนดเวลาให้บริษัทฯ หยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาเครื่องรายปีแล้ว หากในเดือนใดที่กำหนดไว้ตามแผน ในข้อ 3.1.4 บริษัทฯ มีเหตุจำเป็นไม่สามารถหยุดเครื่องตามช่วงเวลาที่ตกลงไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทฯ จะต้องแจ้งรายละเอียดของแผนใหม่ที่ปรับปรุงและเหตุผลในการขอเลื่อนหรือยกเลิกการบำรุงรักษาที่ได้ตกลงไว้ตามข้อ 3.1.4 นั้น ให้ กฟผ. ทราบไม่น้อยกว่า 30 วันก่อนวันที่กำหนดไว้เดิมในข้อ 3.1.4 ทั้งนี้ การขอเลื่อนการบำรุงรักษานี้จะยืดระยะเวลาในการบำรุงรักษาตามที่ระบุไว้ในข้อ 3.1.4 สำหรับระยะเวลาที่เกินจากแผนบำรุงรักษาที่แจ้งไว้ในข้อ 3.1.4 ให้ถือเป็นแผนบำรุงรักษาตามข้อ 3.1.6

หลังจากได้รับแผนที่ขอปรับปรุงจากบริษัทฯ แล้ว กฟผ. จะพิจารณาแผนดังกล่าวโดยยึดถือความมั่นคงของระบบไฟฟ้าเป็นหลัก หาก กฟผ. ไม่สามารถให้บริษัทฯ หยุดตามช่วงเวลาที่บริษัทฯ ต้องการได้ แต่บริษัทฯ ยืนยันที่จะหยุดก็สามารถทำได้โดย กฟผ. จะคิดชั่วโมงดังกล่าวเป็นการหยุดเพื่อบำรุงรักษาเพิ่มจากแผนรายปี

ในกรณีที่บริษัทฯ แจ้งมาน้อยกว่า 30 วัน กฟผ.จะยังคงยึดแผนตามข้อ 3.1.4 เป็นแผนบำรุงรักษาตามเดิม

3.1.6 แผนบำรุงรักษารายสัปดาห์

ในกรณีที่บริษัทฯ มีเหตุจำเป็นต้องหยุดเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance Outage) ต่อเนื่องเกิน 24 ชั่วโมง นอกเหนือจากแผนรายปี (Planned Outage) จะต้องแจ้งให้ กฟผ. ทราบล่วงหน้า 7 วัน เพื่อ กฟผ. จะได้มีเวลาพิจารณาจัดแผนเดินเครื่องใหม่ให้สอดคล้องกับแผนบำรุงรักษาระบบส่ง หรือ ข้อจำกัดอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้า และ กระทบต่อต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด ถ้าบริษัทฯ แจ้งให้ กฟผ. ทราบน้อยกว่า 7 วัน กฟผ. จะถือเป็นการแจ้งกระชั้นชิด และจะยอมรับการแจ้งกระชั้นชิดนี้ได้ปีละไม่เกิน 3 ครั้ง โดยจะนับเป็นชั่วโมงหยุดเครื่องปกติ แต่ถ้าบริษัทฯ แจ้งกระชั้นชิดเกิน 3 ครั้ง การหยุดเครื่องครั้งต่อไปจะคิดจำนวนชั่วโมงการหยุดเครื่องเท่ากับ 1.5 เท่าของชั่วโมงหยุดเครื่องจริง เพื่อชดเชยความเสียหายในส่วนของ กฟผ.

ทั้งนี้ในกรณีที่บริษัทฯ แจ้งขอหยุดบำรุงรักษาต่อเนื่องน้อยกว่า 24 ชั่วโมง (แจ้งเฉพาะ Peak และ Partial Peak) แต่มีการแจ้งขอหยุดบำรุงรักษาเพิ่มเติมต่อเนื่องเวลา Peak และ Partial Peak ในวันถัดมา กฟผ. จะพิจารณา ให้วันที่ขอหยุดบำรุงรักษาเพิ่มเติมนับเป็นวันหยุดบำรุงรักษาต่อเนื่อง และถือเป็นการแจ้งกระชั้นชิด

3.1.7 แผนบำรุงรักษารายวัน

ในกรณีที่บริษัทฯ มีความจำเป็นต้องหยุดเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance Outage) ไม่เกิน 24 ชั่วโมง จะต้องแจ้งล่วงหน้าในแผนความพร้อมรายวัน ให้ กฟผ. ทราบก่อนเวลา 12.00 น. ของวันก่อนที่บริษัทฯ จะหยุดเครื่องจริง เพื่อให้ กฟผ. มีเวลาพอที่จะสามารถวางแผนการเดินเครื่อง โดยมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตและกำลังผลิตสำรองน้อยที่สุด และ กฟผ. จะถือว่าชั่วโมงหยุดเครื่องนั้นเป็นชั่วโมงหยุดเครื่องปกติ แต่ถ้าบริษัทฯ แจ้งขอหยุดเครื่องหลัง 12.00 น. ของวันก่อนที่บริษัทฯ จะหยุดเครื่อง กฟผ.จะคิดชั่วโมงดังกล่าวเป็นชั่วโมงการจำหน่ายไฟฟ้าตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากวันที่กำหนดการส่งแผนบำรุงรักษาตามข้อ 3.1.3 - 3.1.7 ตรงกับวันหยุดทำการของ กฟผ. ให้บริษัทฯ ส่งแผนดังกล่าวในวันทำการสุดท้ายก่อนวันหยุด โดยในกรณีที่บริษัทฯจำเป็นต้องหยุดเพื่อบำรุงรักษาเพิ่มเติมภายหลังบริษัทฯ สามารถแจ้งล่วงหน้าให้ กฟผ. ทราบก่อนเวลา 12.00 น.ของวันก่อนวันที่บริษัทฯ จะหยุดจริงได้

3.2 แผนการผลิต

3.2.1 แผนการผลิตรายปี

ก่อนวันที่ 1 ตุลาคม ของทุกปีบริษัทฯ จะต้องส่งปริมาณไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะพร้อมจำหน่ายให้ กฟผ. ในแต่ละเดือนจากเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมปีถัดไปให้ กฟผ. ทราบ โดยแผนนี้จะต้องสอดคล้องกับแผนหยุดเครื่องที่ได้ตกลงไว้แล้ว

3.2.2 แผนการเดินเครื่องรายเดือน

ภายในวันที่ 15 ของทุกเดือน บริษัทฯ ที่ใช้เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์หรือพลังงานหมุนเวียนประเภทชีวมวลในการผลิตไฟฟ้า จะต้องแจ้งความพร้อมในการผลิตและปริมาณพลังงานที่จะผลิตในเดือนถัดไปให้ กฟผ.

3.3 การประสานงานด้านความปลอดภัย

เมื่อการไฟฟ้า และ/หรือบริษัท ฯ จะทำการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าหรือความปลอดภัยของบุคคลหรือทรัพย์สินใด ๆ ของอีกฝ่าย ผู้ที่ทำการซ่อมบำรุงดังกล่าวจะต้องแจ้งให้อีกฝ่ายทราบล่วงหน้าทันทีที่สามารถทำได้ ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อจะได้เตรียมระวังป้องกัน และในกรณีเกิดเหตุการณ์ที่กระทบต่อการจ่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้า และลูกค้า โดยจะต้องแจ้งรายละเอียดให้ทราบเพื่อเป็นข้อมูลในการจัดประชุมร่วมกันเพื่อป้องกันความเสียหายอันเกิดจากระบบไฟฟ้า อุปกรณ์หรือชีวิตและทรัพย์สิน

3.4 การปฏิบัติงานเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินในระบบ

เนื่องจากบริษัทไม่ถูกกำหนดให้ช่วยควบคุมความถี่ผ่านระบบควบคุมอัตโนมัติของ กฟผ. ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินในระบบ บริษัทจะต้องช่วยระบบ ดังนี้

3.4.1 กรณีความถี่ไม่อยู่ในช่วง 49.25 - 50.75 Hz และไม่ได้รับการติดต่อจากศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ของ กฟผ. บริษัทฯต้องช่วยระบบโดยเพิ่มหรือลดกำลังผลิตเพื่อจะทำให้ความถี่ของระบบกลับมาอยู่ที่ 50 Hz โดยในช่วงเวลาดังกล่าวบริษัทฯ จะได้รับการยกเว้นจากเงื่อนไขในสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

3.4.2 กรณีความถี่ต่ำกว่า 48.00 Hz หรือ สูงกว่า 51.00 Hz ต่อเนื่องเกิน 1 นาที ทางบริษัทฯ สามารถปลดเครื่องออกจากระบบไฟฟ้าได้โดยไม่ถือเป็นสาเหตุของบริษัทฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 กรณีความถี่ต่ำกว่า 47.90 Hz หรือสูงกว่า 51.10 Hz ทางบริษัทฯ สามารถปลดเครื่องออกจากระบบไฟฟ้าได้โดยไม่ถือเป็นสาเหตุของบริษัทฯ

3.5 คุณภาพการจ่ายไฟฟ้า (Quality of supply)

เนื่องจากการไฟฟ้ากำหนดมาตรฐานการจ่ายไฟฟ้า และ คุณภาพของไฟฟ้าให้กับลูกค้าของการไฟฟ้า บริษัทฯ จึงต้องออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ อุปกรณ์อื่นๆ ให้สามารถทนต่อสภาพ และ คุณภาพของระบบของการไฟฟ้าที่ได้กำหนดไว้ รวมถึงบริษัทฯต้องไม่ทำให้ระดับคุณภาพด้อยลงและเกินระดับที่กำหนด

3.5.1 ข้อมูลคุณภาพที่การไฟฟ้ากำหนดไว้กับลูกค้า

3.5.1.1 ระดับแรงดันที่จุดต่อเชื่อม

- ในระบบของ กฟผ. ในสภาวะปกติระดับแรงดันจะถูกควบคุมไว้ที่ระดับไม่เกิน $\pm$ 5% ของ Nominal Voltage และในช่วงผิดปกติแรงดันอาจเบี่ยงเบนไปถึง $\pm$ 10 %
- ในระบบของ กฟภ. ในสภาวะปกติระดับแรงดันจะถูกควบคุมไว้ที่ระดับไม่เกิน $\pm$ 5% ของ Nominal Voltage และในช่วงผิดปกติแรงดันอาจเบี่ยงเบนไปถึง $\pm$ 10 %
- ในระบบ กฟน. แยกตามแรงดันไฟฟ้า

สภาวะ	115 kV	69 kV	24 kV	12 kV
ปกติ	-1.74% ,+2.61% 113.0 - 118.0 kV	-1.74%,+2.90% 67.0 – 71.0 kV	-1.91%, -1.67% 21.8 – 23.6 kV	-0.96%, -1.67% 10.9 – 11.8 kV
ฉุกเฉิน	-1.74% ,+6.96% 113.0 - 123.0 kV	-1.74%,+5.07% 67.0 – 72.5 kV	-2.09%, 0.00% 21.6 – 24.0 kV	-1.04%, 0.00% 10.8 – 12.0 kV

3.5.1.2 ความถี่ของระบบ ในสภาวะปกติไม่เกิน 50 Hz $\pm$ 0.5 Hz ยกเว้นกรณีเกิดเหตุผิดปกติหรือเหตุฉุกเฉิน

3.5.1.3 แรงดันและกระแสผิดเพี้ยน (Voltage and current distortion) การไฟฟ้ากำหนดให้ลูกค้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายที่ใช้อุปกรณ์ที่เป็นชนิด Non-linear load ต้องควบคุม Harmonic distortion ไม่เกินระดับที่กำหนดเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับลูกค้ารายอื่นๆ

ขีดจำกัดของแรงดันฮาร์มอนิก เป็นค่าขีดจำกัดของทั้งแต่ละอันดับและค่าความเพี้ยนรวม (V_T) ที่ลูกค้าต้องไม่ทำให้แรงดันฮาร์มอนิก ที่จุดซื้อไฟเกินกำหนดดังแสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขีดจำกัดค่าความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม (รวมทั้งระดับความเพี้ยนที่มีอยู่เดิม)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนของแรงดันรวม V_T (%)	ค่าความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.4	5	4	2
11,12,22,24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 and above	1.5	1	0.5

$$V_T = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{19} [V_n]^2}}{V_1} \times 100\ \%$$

V_T = ค่าความเพี้ยนของแรงดันรวม V_T (%)

V_1 = แรงดัน Fundamental (ที่ความถี่ 50 Hz)

V_n = แรงดันฮาร์มอนิกอันดับที่ n

ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิก เป็นค่าขีดจำกัดของแต่ละอันดับมีหน่วยเป็นแอมแปร์ ที่ลูกค้าต้องไม่ทำให้กระแสฮาร์โมนิกที่จุดซื้อไฟไหลเข้าระบบของการไฟฟ้าเกินกำหนด ดังแสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม

ยอมให้นำค่าความคลาดเคลื่อน 10% หรือ 0.5 แอมแปร์ (ค่าที่มากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง) มาใช้กับขีดจำกัดของกระแสแต่ละอันดับได้ไม่เกิน 2 อันดับ

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	MVA_{SC} (Base)	อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms)																	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.4	10	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
11,12	100	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
22,24,33	500	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
69	500	8.8	5.9	4.3	7.3	3.3	4.9	2.3	1.6	1.6	4.9	1.6	4.3	1.6	1	1	1.6	1	1
115 และมากกว่า	1,000	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า MVA_{SC} ที่จุดต่อร่วม คำนวณจากสมการ ดังนี้

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} V_{L-L} I_{SC}$$

V_{L-L} = แรงดันไฟฟ้า Line-to-line ที่จุดต่อร่วม [kV]

I_{SC} = กระแสไฟฟ้าลัดวงจรแบบ 3 เฟส ที่จุดต่อร่วม [kA]

หากค่า MVA_{SC} ต่ำสุดที่จุดต่อร่วมมีค่าแตกต่างจากค่า $MVA_{SC}\left(Base\right)$ ที่ระบุในตาราง ยอมให้ปรับค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบด้วยสมการ

$$I_h^1 = I_h \left(\frac{MVA_{SC}^1}{MVA_{SC}\left(Base\right)} \right)$$

I_h^1 = ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบ เมื่อค่า MVA_{SC} เป็น MVA_{SC}^1 [A]

I_h = ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h ที่กำหนดในตาราง [A]

MVA_{SC}^1 = ค่า MVA_{SC} ต่ำสุดที่จุดต่อร่วม มีค่าไม่เท่ากับค่า $MVA_{SC}\left(Base\right)$ [MVA]

$MVA_{SC}\left(Base\right)$ = ค่า $MVA_{SC}\left(Base\right)$ สำหรับขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกในตาราง [MVA]

3.5.1.4 ความรุนแรงของไฟกระพริบ (Flicker) ลูกค้ารายที่มีการใช้อุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตที่มีผลทำให้เกิดไฟกระพริบ ต้องควบคุมไม่ให้เกินกำหนดดังนี้

ขีดจำกัดค่าความรุนแรงของไฟกระพริบ

(รวมทั้งระดับความค่าความรุนแรงของไฟกระพริบที่มีอยู่เดิม)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความรุนแรงของไฟกระพริบ ระยะสั้น (P_{st})	ค่าความรุนแรงของไฟกระพริบ ระยะยาว (P_{lt})
115 หรือต่ำกว่า	1.0	0.8
มากกว่า 115	0.8	0.6

P_{st} = ค่าที่ใช้ประเมินความรุนแรงของไฟกระพริบในช่วงเวลาสั้น ๆ (10 นาที)

$$P_{st} = \sqrt[m]{(P_{st1})^m + (P_{st2})^m + (P_{st3})^m + \ldots + (P_{stn})^m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ m ขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งกำเนิดแรงดันกระเพื่อม โดยมีข้อแนะนำดังนี้

m = 4 ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเตาหลอม

m = 3 ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกือบทุกประเภทโดยคาดว่าโอกาสที่จะทำงานพร้อมกันมีน้อย

m = 2 ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีโอกาสจะเกิดการทำงานพร้อมกันบ่อยครั้ง

m = 1 ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานพร้อมกัน

P_{lt} = ค่าที่ใช้ประเมินความรุนแรงของไฟกระพริบในระยะยาว (2-3 ชั่วโมง)

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}[P_{stj}]^3}$$

N คือ จำนวน P_{st} ในช่วงเวลาตรวจวัด ปกติจะประมาณ 2 ชั่วโมง ดังนั้น N = 12

3.5.2 คุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้ากำหนดไว้สำหรับโรงไฟฟ้าที่ขนานเข้ากับระบบ

3.5.2.1 บริษัทฯ ต้องรักษาแรงดันและความถี่ไม่ให้ด้อยกว่า หรือพยายามทำให้ดีกว่าข้อกำหนดของการไฟฟ้าในข้อ 3.5.1.1 และ 3.5.1.2

3.5.2.2 บริษัทฯ ต้องสามารถรับหรือจ่าย Reactive power : Var ที่ 0.85 leading และ 0.85 lagging เพื่อรักษาแรงดันที่จุดต่อเชื่อมและ/หรือจ่ายให้เหมาะสมกับความต้องการของ Var ในระบบจำหน่ายแต่ละช่วงเวลา

3.5.2.3 บริษัทฯ ต้องรักษาแรงดันผิดเพี้ยนที่จุดต่อเชื่อมเข้าระบบการไฟฟ้า ไม่ให้เกินข้อกำหนดของการไฟฟ้าในข้อ 3.5.1.3

3.5.2.4 บริษัทฯ ต้องพยายามลดปริมาณกระแส Harmonic ที่ไหลเข้าระบบของการไฟฟ้าที่จุดต่อเชื่อมโดยควบคุมกระแส Harmonic ที่เกิดจากอุปกรณ์ของลูกค้าของบริษัทฯ ไม่ให้เกินกำหนดของการไฟฟ้าในข้อ 3.5.1.3

3.5.2.5 บริษัทฯ ต้องพยายามลดระดับความรุนแรงของไฟกระพริบที่อาจเกิดจากการใช้อุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตของบริษัทฯ หรือจากลูกค้าของบริษัทฯ ตรงจุดต่อเชื่อมเข้าระบบของการไฟฟ้าไม่ให้เกินกำหนดในข้อ 3.5.1.4

3.5.3 ในกรณีพบว่าระดับที่กำหนดไว้ในข้อ 3.5.2.3 และ ข้อ 3.5.2.4 สูงกว่ากำหนด และอยู่ในขั้นตอนที่การไฟฟ้ากำลังหาสาเหตุและปรับปรุง บริษัทฯ ต้องพยายามทำให้ระดับไม่สูงมากขึ้นจนเป็นอันตรายกับอุปกรณ์ของการไฟฟ้า ลูกค้าของการไฟฟ้า และอุปกรณ์ของบริษัทฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ในกรณีที่การไฟฟ้าตรวจพบว่าบริษัทไม่สามารถควบคุมคุณภาพไฟฟ้าได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.5.2 บริษัทฯ จะต้องรีบดำเนินการแก้ไขปรับปรุง และเสนอแผนการปรับปรุงให้การไฟฟ้าทราบ

3.5.5 บริษัทฯ จะต้องขอข้อมูลระดับแรงดันและระดับคุณภาพไฟฟ้า ณ.จุดเชื่อมโยงที่การไฟฟ้าต้องการให้บริษัทฯ ควบคุม เพื่อใช้ในการออกแบบของบริษัทฯ

3.6 ข้อบังคับต่างๆ

3.6.1 บริษัทฯ จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนหรือเพิ่มขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มเติม หรือกระทำการใดที่กระทบกับคุณภาพไฟฟ้า โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจาก กฟผ.

3.6.2 กฟผ. สงวนสิทธิจะอนุญาตให้มีการเดินเครื่องขนานกับระบบไฟฟ้าของ การไฟฟ้า หรือระงับการอนุญาตให้มีการเดินเครื่องขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า ถ้าปรากฏว่า

3.6.2.1 บริษัทฯ ไม่สามารถปฏิบัติตามมาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าในข้อ 3.5 ได้หลังจาก กฟผ. แจ้งให้ บริษัทฯ ทราบภายในระยะเวลาที่เหมาะสมทางเทคนิค

3.6.2.2 บริษัทฯ ฝ่าฝืนระเบียบการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของบริษัทฯ ขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า

3.6.3 บริษัทฯ เป็นผู้รับผิดชอบในการขนาน (Synchronization) เข้าสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า และจะต้องขออนุญาตจาก กฟผ. ทุกครั้ง ก่อนที่จะมีการขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า เพื่อให้ กฟผ. สามารถรักษา Spinning Reserve ของระบบในระดับที่เหมาะสม

3.6.4 ในกรณีที่บริษัทฯ ปฏิบัติผิดสัญญาซื้อขายไฟฟ้า หรือข้อตกลงอื่นๆ ที่ไม่มีผลต่อความมั่นคงของระบบ กฟผ. ขอสงวนสิทธิที่จะแจ้งให้บริษัทฯ ทราบ เพื่อทำการแก้ไขและดำเนินการตามขั้นตอนของสัญญาต่อไป

4. แผนการเดินเครื่อง

4.1 แผนรายเดือน

ภายในสัปดาห์ที่ 4 ของทุกเดือน กฟผ. จะส่งแผนการรับซื้อไฟฟ้าล่วงหน้า 1 เดือน ให้ทางบริษัทฯ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตไฟฟ้า โดยแผนจะระบุพลังไฟฟ้าที่จะรับซื้อในแต่ละช่วงเวลาของวันธรรมดา วันอาทิตย์และวันหยุดพิเศษ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในสัญญาซื้อขายไฟ และใช้เป็นแผนปฏิบัติตลอดทั้งเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แผนเพิ่มเติม

ในกรณีที่ กฟผ. หรือ บริษัทฯ มีความจำเป็นต้องปรับแผนรายเดือนตามที่ได้ตกลงไปแล้ว จะต้องแจ้งให้อีกฝ่ายหนึ่งทราบทันที และตกลงปรับแผนการเดินเครื่องรายเดือนร่วมกันใหม่ โดยจะใช้แผนใหม่นี้ไปจนถึงสิ้นเดือน การขอปรับแผนเนื่องจากบริษัทฯ ต้องไม่ขัดต่อข้อกำหนดการบำรุงรักษา ข้อ 3.1

4.3 การผลิตไฟฟ้าในรอบเดือน

ภายในสัปดาห์แรกของทุกเดือน บริษัทฯ จะต้องรายงานการผลิตไฟฟ้าของบริษัทฯ เป็นรายเครื่องของเดือนที่ผ่านมา เพื่อเก็บเป็นสถิติและใช้ในการคาดการณ์ความต้องการไฟฟ้าของประเทศ ดังนี้

ก) กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (Gross MW) รายชั่วโมงของทุกวัน และกำลังผลิตติดตั้ง

ข) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดและขายรายเดือน

- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตทั้งหมด (Gross Energy)
- พลังงานไฟฟ้าที่บริษัทขายให้ลูกค้าทั้งหมด
- พลังงานไฟฟ้าที่บริษัทใช้เอง
- พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้ กฟผ.

5. การติดต่อสื่อสาร

การสื่อสารสั่งงานปกติให้ใช้โทรศัพท์ หรือ Party line ส่วนการประสานงานที่จะมีผลต่อการคิดค่าไฟ จะต้องส่งทาง Fax. โดยผู้ส่งจะเซ็นต์ชื่อในด้านของผู้ส่งและผู้รับจะต้องเซ็นต์ชื่อรับและส่ง Fax. กลับมาให้ผู้ส่งเก็บสำเนาไว้ 1 ชุด ในกรณีที่มีปัญหาในการส่ง Fax. คู่สัญญาทั้งสองฝ่าย จะใช้เครื่องบันทึกข้อความสนทนา เพื่อบันทึกข้อความสนทนาโดยระบุชื่อทั้งสองฝ่าย เวลา และเหตุการณ์ต่าง ๆ ไว้เป็นหลักฐาน หรือจะใช้ระบบอื่นที่ทั้งสองฝ่ายเห็นชอบร่วมกัน ส่วนพลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจะใช้บันทึกจาก Energy meter ซึ่งทั้งสองฝ่ายสามารถเรียกข้อมูลมาดูได้โดยทางระบบ Telemetering เป็นหลักฐานในการคิดเงินตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

บริษัทฯ จะต้องดูแลให้ค่าความพร้อมใช้งานได้ของระบบสื่อสาร ให้ได้ตามเอกสารแนบท้ายหมายเลข 3 ของสัญญาซื้อขายไฟฟ้า หากระบบสื่อสารของ บริษัทฯ เกิดขัดข้อง และไม่ได้รับการแก้ไขหลังจากได้รับเอกสารแจ้งเตือนจาก กฟผ. ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมทางเทคนิค แต่ไม่เกิน 12 เดือน กฟผ. มีสิทธิที่จะเข้าไปดำเนินการแก้ไข ปรับปรุง หรือ ติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ โดยบริษัทฯ จะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การปรับปรุงและแก้ไข SPP Grid Code

การปรับปรุงและแก้ไข SPP Grid Code ทุกครั้ง จะต้องผ่านการพิจารณาจากคณะอนุกรรมการพิจารณาระเบียบการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า และเสนอคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติให้ความเห็นชอบ ทั้งนี้การพิจารณาให้คำนึงถึงผลกระทบต่อรายได้หรือค่าใช้จ่ายของบริษัทฯด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วย MATLAB

Thermal Power Plant Simulations Using MATLAB

กัลยรัตน์ เลาหสงคราม กีรติ ธนะไพบูลย์ และ กีรติ ไวยวิเชียร
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: biz4rd.iz@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจำนวน 1 หน่วยผลิตที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลัง การจำลองนี้นำเสนอพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันไอน้ำ ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กและเครื่องควบคุมความเร็ว ซึ่งได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า แรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก และวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลังและส่งกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโหลดที่มีต่อโรงไฟฟ้า รวมทั้งผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดพร่องขึ้นในระบบ ซึ่งโมเดลการจำลองการทำงานจะถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม MATLAB R2012a รวมทั้งทำการสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI) เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

คำสำคัญ: โรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน, ปริมาณทางไฟฟ้า, ภาระไฟฟ้า, ไอน้ำ, สภาวะผิดพร่อง

Abstract

This article study and presents a simulation of Thermal Power Plant with single generation unit which connected to power system. This simulation exhibits behavior of generator, exciter, steam turbine and governor by monitoring electrical quantities such as voltage, current, frequency, magnetizing voltage and stream valve control. The thermal power plant connected to the power system and transfer power to different load. Then analyze the impact of load changes on the power plant. Including the effect of fault occurs in the system. The simulation model is created by MATLAB R2012a including created graphic user interface (GUI) for ease of use.

Keyword: thermal power plant, electrical quantities, electrical load, steam, fault

1.บทนำ

โรงไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) มีหน้าที่หลัก คือ เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าส่งให้กับระบบจำหน่าย เพื่อส่งต่อไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนนั้นเป็นโรงไฟฟ้าที่มีการใช้งานเป็นกำลังผลิตส่วนใหญ่ของประเทศ จัดเป็นกำลังหลักในการผลิตไฟฟ้าให้กับประเทศ โดยมีการนำมาใช้งานเป็นโรงไฟฟ้าภาระฐาน (Base Load Plant) ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง

รูปที่ 1 กำลังผลิตติดตั้งของ กฟผ. เดือนกรกฎาคม 2556 [1]

หากเกิดปัญหาขึ้นกับระบบผลิตไฟฟ้าจะเกิดความเสียหายต่อผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นวงกว้าง ดังนั้นการดูแลระบบผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดจะต้องมีการควบคุมดูแลการทำงานของระบบที่ดีที่สุด เพื่อให้ระบบไฟฟ้านั้นมีความคงทนต่อสภาพการต่างๆ และพร้อมรับสถานการณ์ผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้น การจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน จะแสดงถึงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถคาดการณ์เหตุการณ์และทรัพยากรที่จำเป็นต่อการดำเนินการผลิต เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือ เชื้อเพลิง บุคลากร เป็นต้น การเตรียมการอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการจะช่วยให้ระบบมีความมั่นคง สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบ

2. ขอบเขตของการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนในบทความนี้ จะให้ความสำคัญในส่วนของผลกระทบที่มีต่อโรงต้นกำลังไฟฟ้าในด้านของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ความถี่, แรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก และวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำ ซึ่งในแบบจำลองนี้จะทำการจำลองเฉพาะในส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, กังหันไอน้ำ, ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กและเครื่องควบคุมความเร็ว

3.โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน [2]

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อาศัยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา แก๊สธรรมชาติ ถ่านลิกไนต์ ได้ความร้อนออกมา ถ่ายเทให้สารตัวกลางที่ความดันสูงเช่น น้ำ อากาศ ซึ่งจะนำไปถ่ายเทให้แก่อุปกรณ์ผลิตงานเพลาที่เรียกว่ากังหันอีกทอดหนึ่ง งานเพลาที่ได้จะนำมาใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังประกอบด้วยระบบควบคุม ได้แก่ เครื่องควบคุมความเร็วและระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน โดยในบทความนี้จะนำเสนอโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ

4. อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ [2-3]

- ห้องเผาไหม้ เป็นบริเวณสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงและป้อนเชื้อเพลิงใหม่เข้าสู่ระบบเผาไหม้ ซึ่งโครงสร้างของห้องเผาไหม้ที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับประเภทเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการเผา

- หม้อไอน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ สำหรับใช้ในการขับกังหันไอน้ำ เพื่อผลิตงานกลหรือไฟฟ้า มีหน้าที่หลักคือ การผลิตไอน้ำให้ได้ตามสภาวะที่ต้องการ กล่าวคือที่อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลที่กำหนด โดยให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การทำงานโดยรวมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่าย

- กังหันไอน้ำ เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงาน จากพลังงานไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงเป็นงานกล โดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลที่ได้รับให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในโรงไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นชนิดซิงโครนัส เนื่องจากสามารถควบคุมค่าตัวประกอบกำลังหรือควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนได้

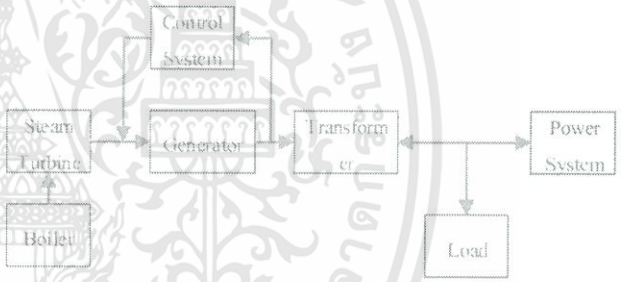
- เครื่องควบคุมความเร็ว หน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของ Prime mover ซึ่งมีแกนหมุนต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อรักษาความเร็วรอบและความถี่ไฟฟ้าของระบบ

- Exciter เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่จะป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเพื่อควบคุมการสร้างสนามแม่เหล็กและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้คงที่

5.แบบจำลองและการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

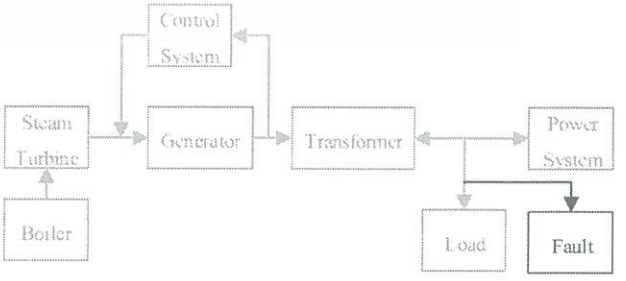
แบบจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อนในบทความนี้ จะประกอบด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำจำนวน 1 หน่วยผลิต ซึ่งมี Synchronous Generator พร้อมด้วยระบบควบคุม ขนาดกำลังการผลิต 600 MVA 22kV เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้ากำลังผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 600MVA 22/500kV

ในการจำลองจะทำการเพิ่มขนาดของภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบจาก 1,000 MW เป็น 1,500 MW, 1,000 MW เป็น 2,000 MW และ 1,000 MW เป็น 2,500 MW รวมถึงทำการจำลองให้เกิดการลดลงของภาระไฟฟ้าจาก 2,500 MW เป็น 2,000 MW, 2,500 MW เป็น 1,500 MW และ 2,000 MW เป็น 1,000 MW เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า



รูปที่ 2 แบบจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า

นอกจากนี้ยังทำการจำลองการเกิดการลัดวงจรชนิด ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากมีโอกาสเกิดขึ้นจริงในระบบไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงต้นกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการออกแบบระบบป้องกันต่อไป



รูปที่ 3 แบบจำลองผลกระทบของการเกิดการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เงื่อนไขในการศึกษาผลกระทบต่อระบบ

7.1 การศึกษาระบบในสภาวะคงตัว

- การศึกษาผลกระทบทางด้านแรงดันจะทำโดยการกำหนดสภาวะปกติของระบบอยู่ในช่วง 0.95-1.05 pu ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ดังนั้นผลการวิเคราะห์ระบบที่แรงดันเกินกว่า 1.05 pu จะเรียกว่า "สภาวะแรงดันเกิน" และระบบที่แรงดันต่ำกว่า 0.95 pu จะเรียกกว่า "สภาวะแรงดันตก"

- การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านขนาดกระแสไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าย่อมส่งผลกระทบต่อระบบในด้านของขนาดกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในระบบ หากมีการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้าในปริมาณมาก จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการทำงานเกินพิกัดของอุปกรณ์หรือการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน

7.2 การศึกษาระบบในสภาวะพลวัตน์

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้าหรือเกิดการลัดวงจรขึ้น ในช่วงก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ อย่างมาก อุปกรณ์บางส่วนอาจต้องทำงานเกินพิกัดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจสร้างความเสียหายกับอุปกรณ์และระบบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบในส่วนนี้

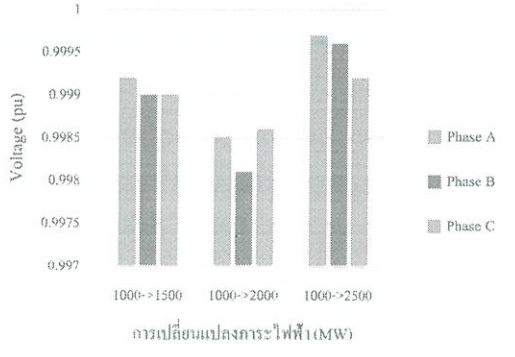
- ผลกระทบทางด้านแรงดันไฟฟ้า เมื่อเกิดสภาวะพลวัตน์ แรงดันไฟฟ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง แรงดันของระบบอาจมีค่าพุ่งสูงหรือต่ำกว่าพิกัดอย่างมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้

- ผลกระทบทางด้านกระแสไฟฟ้า เมื่อเกิดสภาวะพลวัตน์ขึ้นในระบบ ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นทำให้มีความรุนแรงสูง อาจก่อความเสียหายให้กับอุปกรณ์และภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบได้ การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านกระแสไฟฟ้านี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการออกแบบระบบป้องกันได้ต่อไป

8. ผลการศึกษาและวิเคราะห์

8.1 ผลการจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า

จากผลการจำลองพบว่า ไม่พบปัญหาด้านแรงดันไฟฟ้าภายในระบบหลังจากการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบอยู่ในช่วง 0.95-1.05 pu



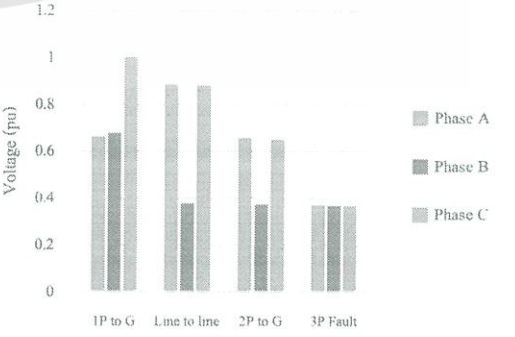
รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าแรงดัน หลังจากเพิ่มขนาดภาระไฟฟ้า

8.2 ผลการจำลองการทำงานเมื่อเกิดการลัดวงจร

เมื่อทำการจำลองการทำงานในขณะเกิดการลัดวงจรแบบต่างๆ พบว่า ขนาดของกระแสลัดวงจรจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของการลัดวงจร

รูปที่ 7 กราฟแสดงขนาดกระแสลัดวงจร

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเกิดการลัดวงจรจะ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตก ซึ่งความรุนแรงของการลัดวงจรจะส่งผลโดยตรงต่อระดับแรงดัน หากการลัดวงจรที่เกิดขึ้นนั้นมีความรุนแรงสูงก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกลงมาก ซึ่งเห็นได้จากความผิดพร่องชนิด 3 เฟสจะทำให้เกิดค่าแรงดันตกมากที่สุด



รูปที่ 8 กราฟแสดงขนาดแรงดันต่ำสุดขณะเกิดการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 ผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้า

จากผลการจำลองทั้งการจำลองการทำงานของโรงต้นกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าและเมื่อเกิดการลัดวงจร พบว่า ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงต้นกำลังไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันดังนี้

ผลกระทบต่อ Exciter เมื่อแรงดันของระบบลดลง Exciter จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับขดลวดสนามเพื่อเพิ่มแรงดันของระบบให้เข้าสู่สภาวะปกติ ในทางตรงกันข้ามหากแรงดันไฟฟ้าของระบบพุ่งสูงเกินกว่าระดับปกติ Exciter จะลดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสนามลง เพื่อลดแรงดันให้เข้าสู่สภาวะปกติเช่นกัน

ผลกระทบต่อวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำวาล์วควบคุมเมื่อความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าปกติวาล์วจะเปิดกว้างขึ้นเพื่อเพิ่มความเร็วรอบให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในทางตรงกันข้ามหากความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงเกินกว่าปกติวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำจะหรี่แคบลง เพื่อลดปริมาณไอน้ำและความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลง

9. สรุป

9.1 ผลกระทบที่มีต่อโรงไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร

ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและเฟสที่เกิดการลัดวงจร แต่ในส่วนของความถี่ไฟฟ้าและค่าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันไม่ว่าจะเกิดความผิดพร่องชนิดใด คือ ค่าความถี่ไฟฟ้าจะเกิดการแกว่งและจะกลับสู่สภาวะปกติอย่างช้าๆ ส่วนค่าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก ในช่วงที่เกิดสภาวะผิดพร่องจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นจนถึงพิกัดสูงสุด เพื่อพยายามรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

- เปรียบเทียบขนาดกระแสขณะเกิดการลัดวงจร สามารถเรียงลำดับความรุนแรงได้เป็น Three Phase Fault > Double line to ground > Line to line fault > Single line to ground

- เปรียบเทียบปัญหาแรงดันตกเมื่อเกิดการลัดวงจร ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสลัดวงจร จึงมีลักษณะเหมือนกับขนาดกระแสลัดวงจร สามารถเรียงลำดับความรุนแรงได้เป็น Three Phase Fault > Double line to ground > Line to line fault > Single line to ground

9.2 ผลกระทบต่อโรงไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาระไฟฟ้า

ขนาดของภาระไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อการกระเพื่อมของแรงดัน แต่ถ้าขนาดของภาระไฟฟ้ามีขนาดไม่ใหญ่เพียงพอก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้า ในส่วนกระแสไฟฟ้าจะเกิดสภาวะชั่วครู่ขึ้น ในช่วงสภาวะนี้ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็วขึ้นอยู่กับลักษณะของการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าและค่าความเหนี่ยวนำภายในระบบไฟฟ้า ในส่วนของความถี่ไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าจะเกิดการแกว่งและเข้าสู่เสถียรภาพอย่างช้าๆ สุดท้ายค่าแรงดันกระตุ้นสนามแม่เหล็ก พบว่าจะมีค่าพุ่งสูงขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าเพื่อรักษาระดับแรงดัน

- เปรียบเทียบการเกิดแรงดันกระเพื่อมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันมาก สามารถเรียงลำดับได้เป็น 2,500 เป็น 1,000 MW > 1,000 เป็น 2,500 MW > 2,500 เป็น 1,500 MW >1,000 เป็น 2,000 MW > 2,500 เป็น 2,000 MW >1,000 เป็น 1,500 MW

เอกสารอ้างอิง

[1] Available online at: http://www.egat.co.th

[2] จุลละพงษ์ จุลละโพธิ, **วิศวกรรมพลังไอน้ำ**, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ :งานเอกสารและการพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] จารุวัฒน์ ขาวปั้น และคณะ, "การออกแบบโรงจักรไฟฟ้าพลังงานชีวมวลแบบเผาไหม้โดยตรง," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,** สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ-สกุล นางสาวกัลยรัตน์ เลาหสงคราม
เกิด 16 ธันวาคม 2534
ที่อยู่ 304/7 ลาดพร้าว87 แขวงคลองเจ้าคุณสิงห์ เขตวังทองหลาง กทม. 10310
ติดต่อ 082-098-0055, kwancud_45@hotmail.com

ชื่อ-สกุล นายกีรติ ธนะไพบูลย์
เกิด 10 กรกฎาคม 2535
ที่อยู่ 30/1 หมู่ 1 ตำบลหนองรี อำเภอเมืองชลบุรี
จังหวัดชลบุรี 20000
ติดต่อ 088-486-8648, biz4rd.iz@gmail.com

ชื่อ-สกุล นายกีรติ ไวยวิเชียร
เกิด 17 มีนาคม 2535
ที่อยู่ 55 หมู่ 5 ตำบลบ้านกรด อำเภอบางปะอิน
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160
ติดต่อ 083-018-0777, jadet_33@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวกัลยรัตน์ เลาหสงคราม
เกิด 16 ธันวาคม 2534
ที่อยู่ 304/7 ลาดพร้าว87 แขวงคลองเจ้าคุณสิงห์ เขตวังทองหลาง กทม. 10310
ติดต่อ 082-098-0055, kwancud_45@hotmail.com

ชื่อ-สกุล นายกีรติ ธนะไพบูลย์
เกิด 10 กรกฎาคม 2535
ที่อยู่ 30/1 หมู่ 1 ตำบลหนองรี อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20000
ติดต่อ 088-486-8648, biz4rd_iz-@hotmail.com

ชื่อ-สกุล นายกีรติ ไวยวิเชียร
เกิด 17 มีนาคม 2535
ที่อยู่ 55 หมู่ 5 ตำบลบ้านกรด อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160
ติดต่อ 083-018-0777, jadet_33@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้