การวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อต่อร่วมกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

ANALYSIS OF POWER OSCILLATION IN PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY DISTRIBUTION LINE CONNECTED WITH SMALL ELECTRICITY GENERATION SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2553

การวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อต่อร่วมกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ.2553

ANALYSIS OF POWER OSCILLATION IN PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY DISTRIBUTION LINE CONNECTED WITH SMALL ELECTRICITY GENERATION SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า



COPYRIGHT © 2010 ถิ่งสิทธิ์ พ.ศ. 2553 FACULTY OF ENGINEERING คณะวิศวกรรมศาสตร์ RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลชัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 115 เควี ของการ	
	ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย	
	ANALYSIS OF POWER OSCILLATION IN PROVINCIAL	
	ELECTRICITY AUTHORITY DISTRIBUTION LINE CONNECTED	
	WITH SMALL ELECTRICITY GENERATION SYSTEM	
ชื่อนักศึกษา	ภาธร มีนาบุญ	
รหัสประจำตัว	115070402016-5	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	คร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	
วัน เดือน ปี ที่สอบ	6 มีนาคม 2553	
สถานที่สอบ	ห้องชมพูพันธุ์ทิพย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์	
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		
	ประธานกรรมการ	
(คร.คมกฤษ ประเสริฐ	วงย) (()))))))))))))))))	
	กรรมการ	
(คร.วันชัย ทรัพย์สิงห์)		
	กรรบการ	
(ดร ถัตรหัย ศกพิทักษ์ก	ትስስ)	
(113.16113.0 1/3111113.		
	กรรมการ	
(คร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิต	ฑิพิชญ์)	
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คร.สมชัย หิรัญวโรคม)	
	d 9 f	

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การแกว่งของกำลังในระบบจำหน่าย 115 เกวี ของกา	
	ไฟฟ้าสวนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย	
นักศึกษา	ภาธร มีนาบุญ	
รหัสประจำตัว	115070402016-5	
ປรີญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ปีการศึกษา	2552	
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	คร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การแกว่งของกำลังฟ้าในระบบจำหน่าย 115 เควี ของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค ขณะต่อเชื่อมกับระบบการผลิตไฟฟ้าอกชนรายย่อยสองแบบได้แก่การแกว่งของกำลังไฟฟ้า แบบ Local Plant Mode ซึ่งเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่องที่อยู่ใกล้กันตอบสนองโต้ตอบ กับระบบที่เหลือซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าความถี่ที่เกิดอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 2 เฮิรตซ์ และในแบบ Inter Area Mode เป็นการแกว่ง ของกำลังไฟฟ้าจากการโต้ตอบของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลุ่มหนึ่งกับกลุ่มของเครื่องกำเนิดกลุ่มอื่นๆ ซึ่งมีความ ซับซ้อนมากกว่าแบบ Local Plant Mode จากจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดของอุปกรณ์ควบคุม การเชื่อมต่อกัน และสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความถี่จะอยู่ในช่วง0.1 ถึง 1 เฮิรตซ์

การศึกษาและวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าอาศัยการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้งสองแบบ ซึ่ง ในแบบ Local Plant Mode ทดสอบโดยสมมุติการเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์ ที่บัสสถานี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และที่ บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าความถี่ต่ำประมาณ 1.68 เฮิรตซ์ ใช้เวลาประมาณ 1.85 วินาที ซึ่ง เกินค่ามาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และการจำลองรูปแบบการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องระหว่างพื้นที่ ในแบบ Inter Area Mode โดยสมมุติให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดในพื้นที่ 1 เกิดการการถ่ายเทกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ทำ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถิ่ประมาณ 0.3 เฮิรตซ์ ซึ่งค่าความถิ่งองการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอยู่ในค่าเกณฑ์ที่กำหนด

ผลจากการศึกษา และวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าทำให้ทราบถึงคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต่อเชื่อมกับสายจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยตรงซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการผลิตของผู้ใช้ ไฟ และวิธีการแก้ไขปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าให้ลดลงอยู่ในค่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อาศัยหลักการชดเชยความถี่โดย การเพิ่มของแรงคันไฟฟ้าด้วยชุดควบควบแรงคันอัตโนมัติ

คำสำคัญ: การแกว่งของกำลังไฟฟ้า, ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ, ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Thesis Title : ANALYSIS OF POWER OSCILLATION IN PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY DISTRIBUTION LINE CONNECTED WITH SMALL ELECTRICITY GENERATION SYSTEM Student Name : Mr. Patorn Menabun Student ID : 115070402016-5 **Degree Award :** Master of Engineering **Electrical Engineering** Study Program : 2009 Academic Year : Thesis Advisor/s : Dr.Krischonme Bhumkittipich

ABSTRACT

The thesis presents the study and analysis of power oscillations in 115 kV Provincial Electricity Authority radial distribution line that connected with small electricity generation system. The power oscillations in power system classify into 2 types such as local plant mode, this type has oscillations associated with a single generator or a group of generators to large system. The power oscillations frequency changes between 0.7 to 2 Hz. The second this study is the inter area mode. This mode involves the combination of many machines which part of a system oscillating against machines another part of system. The power oscillations frequency changes between 0.1 to 1 Hz.

The study and analysis of power oscillations are carried out by using MATLAB/SIMULINK program to comput two types of power oscillations. The power oscillation in local plant mode assumed to suddenly open and close of the breaker in Provincial Electricity Authority and small electricity generation system substation. The power oscillations frequency are 1.68 Hz and 1.84 seconds. The power oscillations frequency are over Provincial Electricity Authority frequency standard. Inter area mode type is designed to connect between generator and generator mode assumed to change load in area 1. The powers flows from area 1 to area 2 . The power oscillations frequency is 0.3 Hz in Provincial Electricity Authority frequency standard.

The results of solution show that the characteristic of power oscillation frequency in the generator when connected with 115 kV Provincial Electricity Authority radial distribution line. The power oscillations frequency can damage in Provincial Electricity Authority's customer production systems.

Keyword: Power oscillations, Small electricity generation system. Computer method,

Provincial Electricity Authority radial distribution Line.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กฤษณ์ ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ที่ให้คำปรึกษาในด้านการเรียนการสอนการวิจัย และในทุกๆ เรื่องซึ่งมีความเข้า นักศึกษาเสมือนหนึ่งเป็นบุคคลในครอบครัว เป็นผู้ที่คอยติดตามกระตุ้นเตือนเสมอมาอย่างเสมอด้น เสมอปลาย และขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณาจารย์นอกภาคทุกๆ ท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ในแขนงวิชาต่างๆ เป็นผู้ที่ให้คำซี้แนะ สั่งสอน และให้ความ ช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนผู้วิจัยมีความรู้กวามเข้าใจสามารถเรียบเรียงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จ และ ต้องขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลธัญบุรี ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณ คุณกิตติ เลียงเครือ หัวหน้าแผนกวิจัยระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อนๆ พี่ๆ พนักงานการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่สนับสนุนข้อมูล และให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา รวมทั้งของอบพระคุณ

สำนักงานแผน และนโยบายพลังงาน กระทรวงพลังงานที่ให้ทุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิคามารดา และครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัยในทุกๆ ด้านมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	กิ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ป
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	3
สารบัญตาราง	น
สารบัญรูป	R
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	ល្ង
$a_1a_2a_1^2$	1
1 1 ความเป็นนาและความสำคัญแคงเป็ญหา	1
1.1 ความเป็นมาและความดาคญของปญหา	1
1.2 ศารแมริสารแขน เอาะรู้อีวัย	2
1.3 สมมุตฐานของทาวางย	2
	3
1.5 ขนตอนการวจย	3
	4
1.7 ลกษณะรายละเอยคงองวทยานพนธ	4
1.8 ประ เยชนทคาดวาจะ เดรบ	4
บทที่ 2 ระบบส่งกำลังไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย	6
2.1 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	6
2.2 ระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย	7
2.3 การศึกษาการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในประเทศต่างๆ	12
2.4 บทความวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 ทฤษฎีและสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง	20
3.1 การแกว่งของกำลังไฟฟ้า (Power Oscillation)	20
3.2 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stability)	20
3.3 สมการการแกว่ง (Swing Equation)	21
3.4 แบบจำลองเครื่องจักรไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพ	24
3.5 การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น	27
3.6 การวิเคราะห์ รูปแบบสถานะ (State Variable Form)	29
3.7 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Model)	31

สารบัญ (ต่อ)

น้ำ
2
33
33
6
36
37
39
45
45
55
56
4
58
58
0
2
88

สารบัญตาราง

6 19 19 19 19	
ตารางที่	หน้า
2.1 จำนวนครั้งการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ที่เกิดขึ้นในประเทศได้หวัน	16
4.1 ผลการทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิด	
กลับเบรกเกอร์ที่บัสอนันต์	50
4.2 ผลการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิด	
กลับเบรกเกอร์ที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	50
4.3 ผลการทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิด	
กลับเบรกเกอร์ที่บัสสถานีไฟฟ้าบางปะอิน2	51
4.4 ผลการทคสอบการแกว่งกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าโรงไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิค	
กลับเบรกเกอร์ที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบริษัทโรจนะ	51
4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิคไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 5 MJ/MVA	53
4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิคไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 9 MJ/MVA	53
4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิคไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 12 MJ/MVA	53
4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิคไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 20 MJ/MVA	53
4.9 ผลการทคสอบของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่กรณีที่ 1	58
4.10 ผลการทคสอบของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่กรณีที่ 2	60
4.11 ผลการทคสอบของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่กรณีที่ 3	62
ข.1 ค่าพารามิเตอร์ทคสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่กรณีที่ 1	76
ข.2 ค่าพารามิเตอร์ทคสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่กรณีที่ 2	76
ข.3 ค่าพารามิเตอร์ทคสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่กรณีที่ 3	76
ข.4 พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ทคสอบการชคเชยการแกว่งแบบ Local Plant Mode	77
ข.5 ค่าเกณฑ์ชุคควบคุม PID ใช้ทคสอบการชคเชยการแกว่งแบบ Local Plant Mode	77
ข.6 ค่าตารางซีเคว้นซ์อิมพีแคนซ์ของสายส่งระบบ 115 เกวี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	77

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	6
2.2 ระบบจำหน่าย 22 และ 33 เกวี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	7
2.3 ระบบจำหน่ายแรงต่ำ 400/230 โวลล์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	7
2.4 ระบบการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระราชบุรี	9
2.5 ระบบการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยจนะ	11
2.6 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกาตะวันตก/แคนนาคา	14
3.1 เวคเตอร์ของแกนโรเตอร์ภายในสภาวะปกติมุมทางไฟฟ้าจะคงที่	22
3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะต่างๆ	24
3.3 การต่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับบัสอนั้นต์แบบคลาสสิก	24
3.4 การแปลงวงจรไฟฟ้าแบบ Y ให้เป็นวงจรแบบ Δ	25
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ($P_{\!_e}$) และการเปลี่ยนแปลงของมุมโรเตอร์(δ)	26
3.6 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Classical	27
3.7 วงจรเทียบเคียงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Classical	27
3.8 บล็อกไคอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (3.50)	32
3.9 บล็อกไคอะแกรมรวมความสัมพันธ์ของเครื่องกำเนิคไฟฟ้า	33
3.10 ผลรวมของระบบป้อนกลับของบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.9	33
3.11 บล็อกใดอะแกรมของระบบตามสมการที่ (3.51)	33
3.12 เส้นคุณลักษณะในสภาวะคงตัวของตัวควบคุมความเร็ว	34
3.13 ผลตอบสนองของความเร็วตัวควบคุมของระบบสำหรับกังหันไอน้ำ	35
3.14 บล็อกไคอะแกรมของผลตอบสนองตัวควบคุมโหลดความถี่แยกของระบบไฟฟ้ากำลัง	35
3.15 ระบบควบคุมความถี่ของโหลดระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่เดี่ยว	37
3.16 ผลตอบสนองต่อระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่เดี่ยว	37
3.17 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างพื้นที่	38
3.18 ระบบการควบกุมแรงคันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR)	40
3.19 ผลของระบบควบคุมบล็อกไดอะแกรมของ AVR	42
3.20 ระบบป้อนกลับเปิดของฟังก์ชั่นของ AVR และ Stabilizer	43
3.21 บล็อกไคอะแกรมระบบป้อนกลับของฟังก์ชั่นของ AVR และ PID	43
4.1 ใคอะแกรมเส้นเคี่ยวทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิคและปิคกลับเบรกเกอร์	
อย่างรวดเร็วที่บัสอนันต์	46

สารบัญรูป

สารบัญรูป (ต่อ)

ug V	97
รูปที่	หน้า
4.2. ใดอะแกรมเส้นเดียวทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์	
อย่างรวดเร็วที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	47
4.3 ใดอะแกรมเส้นเดียวทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์	
อย่างรวดเร็วที่บัสบางปะอิน 2	48
4.4 ใดอะแกรมเส้นเดี่ยวทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์	
อย่างรวดเร็วที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรจนะ	49
4.5 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์บัสอนันต์	51
4.6 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	52
4.7 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสบางปะอิน 2	52
4.8 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรจนะ	52
4.9 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่กวามใหญ่เท่ากับ 5 MJ/MV	4 54
4.10 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 9 MJ/MV	'A 54
4.11 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 12 MJ/M	VA 54
4.12 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 20 MJ/M	VA 55
4.13 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำรวมที่ 5,9,12 และ 20 MJ/MV	/A 55
4.14 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิด	57
4.15 การเปลี่ยนแปลงความถิ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 1	57
4.16 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 1	58
4.17 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	59
4.18 ผังวงจรเดี่ยวการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูม์	[ุ] มภาค 60
4.19 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 2	61
4.20 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 2	61
4.21 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 3	63
4.22 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 3	63
4.23 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในในแบบทคสอบที่เวลา 15 วินาที	65
4.24 แรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ $K_2^{}=0.2$	65
4.25 แรงคันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ K ₂ =1.0	66
4.26 แรงคันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ K ₂ =1.5	66
4.27 แรงคันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ K ₂ =2.0	67
4.28 แรงดันไฟฟ้าเกิน 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ $K_2 = 2.5$	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที	หน้า
ค.1 SIMULINK แบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 1	78
ค.2 SIMULINK แบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 2	78
ค.3 SIMULINK แบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 3	79
ค.4 ชุดชดเชยความถี่ด้วยชุดควบคุม Automatic Voltage Regulator, AVR พร้อมชุดควบคุม PID	79



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
B_1	ค่าแฟกเตอร์ฐานของความถี่พื้นที่ 1
B_2	ค่าแฟกเตอร์ฐานของความถี่พื้นที่ 2
D	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความถี่ของโหลด
D_1	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความถี่ของโหลดพื้นที่ 1
D_2	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความถี่ของโหลดพื้นที่ 2
$D\Delta \omega$	โหลดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความถื่
E^{\prime}	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
E_{B}	กำลังไฟฟ้าที่บัสอนันต์ 🛛 🚔
E_{t}	แรงดันที่ปลายเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
f	ความถี่ของระบบไฟฟ้า
f_0	ความถี่เริ่มต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Н	ความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหน่วยเป็น MJ.s/MVA
J	โมเมนต์ความเฉื่อยของ Prime Mover และ Generator
$J\omega_m$	ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant, M)
K_{A}	Amplifier Gain
$K_{_E}$	Exciter Gain
K_{G}	Generator Gain
K_{R}	Sensor Gain
K_{s}	ค่าสัมประสิทธิ์ซิงโครนัส
K_{2}	การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าสำหรับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยใน
	แรงเคลื่อนไฟฟ้าแม่เหล็กไฟฟ้า
K_5	การเปลี่ยนแปลงของแรงคันขั้วสำหรับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในโรเตอร์ที่
	แรงคันแม่เหล็กไฟฟ้าคงที่ของสเตเตอร์
K_6	การเปลี่ยนแปลงแรงคันขั้วสำหรับการเปลี่ยนแปลงในขคลวคที่สเตเตอร์ที่มุมโร
	เตอร์คงที่
М	ค่าพลังงานจลน์สะสมของการหมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
P_{e}	กำลังทางไฟฟ้า
P_m	กำลังทางกล
P_{s}	กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส
ΔP_L	โหลคไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความถี่

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย		
ΔP_{m1}	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพื้นที่ 1		
ΔP_{m2}	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพื้นที่ 2		
ΔP_{v}	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวาล์วต้นกำลัง		
ΔP_{12}	การเปลี่ยนแปลงกำลังกำลังไฟฟ้าจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2		
R	Regulation		
SB	ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบ ซึ่งในทางปฏิบัติ จะบอกค่าคงที่เป็นค่าคงที่ H		
S'	กำลังไฟฟ้าปรากฏ		
t _s	ค่าคงที่ทางเวลา		
T_a	กำลังทอร์กอัตราเร่ง		
T_e	กำลังทางไฟฟ้า		
T_m	กำลังทอร์กทางกล		
$X^{\prime}{}_{d}$	ความต้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		
X _T	ค่าอิมพีแดนซ์รวมของระบบไฟฟ้า		
X_{T_r}	ความต้านทานหม้อแปลงไฟฟ้า		
ζ	Damping Ratio		
δ	มุมโรเตอร์		
$\Delta\delta$	การเปลี่ยนแปลงมุม โรเตอร์		
$\delta_{_m}$	มุมการเคลื่อนที่ (Angular Displacement) ของโรเตอร์ เทียบกับแกนอ้างอิง		
$\theta_{_m}$	มุมการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ โดยเทียบกับแกนอ้างอิงของสเตเตอร์		
ρ	จำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้า		
$ au_{g}$	Governor Time Constant		
$ au_{T}$	Turbine Time Constant		
ω_{m}	ความเร็วซิงโครนัสของเครื่องจักรกล [rad/s]		
	เกิดการรบกวน		
\mathcal{O}_n	Underdamped Natural		
ω_{s}	Electrical Angular Velocity Frequency		
คำย่อ	ความหมาย		
กฟผ.	การไฟฟ้าฝ่ายผลิต		
กฟภ.	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย		
AGC	Automatic Generation Control		
AVR	Automatic Voltage Regulator		
FACT	Flexible AC Transmission System		
IPP	Independent Power Producer		
LFC	Load Frequency Control		
PEA	Provincial Electricity Authority		
p.u.	Per Unit		
PSS	Power System Stabilizer		
SCR	Silicon Control Rectifier		
SPP	Small Power Producer		
STATCOM	Shunt Static Synchronous Compensator		
SVC	Static Var Compensator		
T_r	Transformer		
VSPP	Very Small Power Producer		

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบการผลิตไฟฟ้าของบริษัทเอกชนรายย่อยได้เพิ่มขึ้นตามสภาวะเสรษฐกิจที่ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และผลของการลดการลงทุนสร้างโรงผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ของการไฟฟ้า ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตลอดจนการส่งเสริมภาครัฐที่สนับสนุนให้ภาคเอกชนเข้ามา ดำเนินการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากเชื้อเพลิงที่ลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม จำนวนโรงผลิตไฟฟ้า เอกชนรายย่อยที่เพิ่มขึ้นจะทำการผลิตกระแสไฟฟ้าขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาค (กฟภ.) ผ่านสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงระบบ 115 เควี โดยตรง [1]

จากการศึกษาระบบการส่งจ่ายกำลังใฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพบว่า [2] หน้าที่หลัก ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และบริษัทผลิตไฟฟ้า เอกชนรายย่อย โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะรับซื้อพลังงานไฟฟ้าในระดับแรงดันสูง 115 เควี และทำ การขายกระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงสูง 115 เควี, 33 เควี และ 22 เควี โดยตรง ระบบจำหน่าย เป็นแบบเรเดียล เชื่อมโยงสายจำหน่ายแรงสูงระหว่างสถานีไฟฟ้า ส่ายจำหน่ายแรงสูงระบบ 115 เควี เชื่อมต่อโดยตรงกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และบริษัทผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโดยตรง เมื่อได้ ทำการศึกษาความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังจะพบว่าอาจเกิดการแกว่งของกำลังในระบบผลิต ไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาคได้ [3] ลักษณะการแกว่งของกำลังไฟฟ้ามีด้วยกันหลายสาเหตุขึ้นอยู่กับชนิดของการแกว่งของ ้กำลังไฟฟ้าว่าเป็นแบบใค ยกตัวอย่างเช่น การแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่ง เครื่อง หรือกล่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแกว่งโต้ตอบกันกับส่วนที่เหลือในระบบ การแกว่งของ ้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ตัวเก็บประจุแบบอนุกรมบนสายจำหน่ายแรงสูง ตลอดจนการแกว่งของ ้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความบกพร่องของการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุมในระบบเองเป็นต้น การศึกษา และการจำลองรูปแบบของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และให้ผลลัพธ์ที่ครอบคลม การเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจะอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK มา ช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุ ตลอดจนหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว การศึกษาและวิเคราะห์การ แกว่งของกำลังไฟฟ้าจะจำลองรปแบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายส่งระบบ 115 เควี ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบเรเดียล จำนวน 2 วงจร ขณะต่อเชื่อมกับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนราย ย่อย

ผลกระทบ และพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แบบต่างๆ [3] ทำให้ทราบถึงรูปแบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง และสามารถทำนายได้ว่าใน ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรงย่อมด้องเกิดปรากฏการณ์ สิ่งรบกวนเกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างแน่นอน และหลีกเลี่ยงไม่ได้ยิ่งถ้าหากสายส่งนั้น จำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง ดังกรณีของการต่อเชื่อมสายส่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยกับสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยตรง ซึ่ง หากไม่ทำการศึกษา ตรวจสอบ และควบคุมป้องกันสิ่งรบกวนที่อาจเกิดขึ้นย่อมส่งผลเสียหายให้กับ ถูกค้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การศึกษาและวิจัยในครั้งนี้มุ่งนำเสนอรูปแบบการแกว่งของไฟฟ้า กำลังสองแบบได้แก่การแกว่งของกำลังในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode จากความ เป็นไปได้ของรูปแบบสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคงณะต่อเชื่อมกับบริษัทผู้ผลิต ไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโดยตรง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสองแบบได้แก่การแกว่งของกำลังไฟฟ้า แบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode ในสายส่งแรงสูงระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาค เมื่อต่อสายส่งเข้ากับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโดยตรง

1.2.2 เพื่อศึกษาความเสียหายของระบบจำหน่ายแรงสูง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode เมื่อต่อเข้ากับระบบผลิต ไฟฟ้าเอกชนราย่อยโดยตรง

1.2.3 เพื่อศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant
Mode และ Inter Area Mode ในสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อต่อเข้ากับ
ระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

1.2.4 เพื่อศึกษาอุปกรณ์สำหรับแก้ไขปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode ได้อย่างกรอบกลุมทั้งสองแบบ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สัญญาณรบกวนขนาดเล็ก (Small Signal) ที่เกิดขึ้นในระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคขณะต่อเชื่อมกับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยสามารถตรวจสอบ ควบคุม และจำกัด ค่าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ออกแบบจำลองสายส่งแรงสูงระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขณะต่อเชื่อม กับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

1.4.2 ออกแบบการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และจำลองรูปแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ เหมาะสมโดยจำลองลักษณะการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode

1.4.3 ออกแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode

 1.4.4 ออกแบบจำลองอุปกรณ์เพื่อชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วย (Automatic Voltage Regulator with PID) เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode หลังจากการวิเคราะห์ปัญหา

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยเรื่องการแกว่งของกำลังไฟฟ้า (Power Oscillations) ในระบบสายส่งแรงสูง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของสายส่งแรงสูงระบบ 115 เควี และ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยต่อเชื่อมสายส่งโดยตรงโดยทำการ พิจารณาการแกว่งของกำลังไฟฟ้า [3] ทั้งสองแบบได้แก่การแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Mode Plant และ Inter Area Mode ตลอดจนศึกษาอุปกรณ์เพื่อแก้ไขปัญหาที่ครอบคลุมการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบ พร้อมทั้งออกแบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบด้วยโปรแกรม กอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1.5.1 ศึกษาระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในระบบสายส่ง 115 เควี

1.5.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความถี่การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบต่างๆ

1.5.3 ศึกษาทฤษฎี และรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

1.5.4 ศึกษาเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.5.5 ศึกษาอุปกรณ์ชดเชยความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ

1.5.6 ออกแบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode บนโปรแกรม กอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK

1.5.7 วิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode

1.5.8 ออกแบบอุปกรณ์ชดเชยความถี่ด้วยชุดควบคุมแรงดัน Automatic Voltage Regulator with PID บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK

1.5.9 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษา และงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาด้วยรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และโปรแกรม คอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK ซึ่งการแก้ไขปัญหาจริงจำต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการ เปลี่ยนแปลงความถี่เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการ วิจัยในครั้งนี้ได้จำลองรูปแบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดยทำการปลด และสับเข้าเบรกเกอร์ควบคุม ในระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และเบรกเกอร์ควบคุมที่บัสแรงคัน 115 เควี ของ ระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยไม่รวมถึงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเนื่องจากความผิดพร่องใน ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.7 ลักษณะและรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

การนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีด้วยกัน 5 บท บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความ สำคัญ ของปัญหา และความจำเป็นในการอนุมัติคณะรัฐมนตรีเพื่ออนุญาตให้เอกชนก่อสร้างระบบผลิต ไฟฟ้า ตลอดจนรูปแบบการต่อเชื่อมสายส่งระบบ 115 เควี ของโรงไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและระบบการ ผลิตไฟฟ้าเอกชน โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบได้แก่ แบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode พร้อมทั้งตั้งข้อสมมุติฐาน ขอบเขต และขั้นตอนใน การศึกษา และวิจัย บทที่ 2 ทำการศึกษาระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและระบบ การผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ตลอดจนการมาตรฐานการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ทำให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้า วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 ทำการศึกษาทฤษฎี และสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบ การศึกษา เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ตลอดจนศึกษาอุปกรณ์เพื่อชดเชยความถี่เนื่องจากการแกว่งของ ้ไฟฟ้ากำลังเพื่อลดความเสียหายในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า บทที่ 4 ทำการออกแบบ และวิเคราะห์การ แกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบด้วยโปกรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK พร้อมทั้งทำ การออกแบบการชดเชยความถี่ด้วยอุปกรณ์ ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator With PID บทที่ 5 ทำการสรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์เชิงอภิปราย ตามจุดมุ่งหมายและ ้ขอบเขตงานวิจัย พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการทำงานวิจัยการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าแก่ผู้ที่สนใจ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 สามารถทราบถึงคุณลักษณะของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบที่เกิดขึ้นใน ระบบจำหน่ายแรงสูง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้

1.8.2 สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK ช่วยคำนวณ และวิเคราะห์ การแก้ไขปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 1.8.3 สามารถทราบถึงระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย และพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้อย่างเข้าใจยิ่งขึ้น

1.8.4 สามารถทราบถึงลักษณะ โครงสร้างระบบสายส่งแรงสูง 115 เควี และพารามิเตอร์ที่ เกี่ยวข้อง ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างเข้าใจยิ่งขึ้น

1.8.5 สามารถจำลองรูปแบบของอุปกรณ์เพื่อชดเชยความถื่อย่างง่าย ในการแก้ไขปัญหาการ แกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ครอบคลุมทั้งแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode

1.8.6 สามารถทราบถึงความเสียหายเนื่องจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทั้งสองแบบจากการต่อสายส่งโดยตรงกับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชน รายย่อย



ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

ในบทที่ 2 จะทำการศึกษารูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประกอบด้วยระบบสายส่งไฟฟ้าที่รับไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และจากระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชน รายย่อยซึ่งทำการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งโดยตรงกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ การศึกษาการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงในประเทศต่างๆ เพื่อค้นหาสาเหตุของการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า การวิเคราะห์หาแนวทางป้องกัน ตลอดจน ศึกษาอุปกรณ์เพื่อชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยตามรูปแบบการส่งจ่าย กำลังไฟฟ้า พฤติกรรมของการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยตามรูปแบบการส่งจ่าย วิศวกรรมได้อย่างถูกต้องสมเหตุผล

2.1 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [4] เป็นรัฐวิสาหกิจด้านสาธารณูปโภค ก่อตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2503 โดยรับโอนทรัพย์สิน หนี้สินและความรับผิดชอบขององค์กรไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคในขณะนั้นมาดำเนินการ วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคคือ การผลิต จัดหาให้ได้มา จัดส่งและจัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ประชาชน ภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ ในเขตจำหน่าย 73 จังหวัดทั่วประเทศ ยกเว้นจังหวัด กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการซึ่ง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แบ่งระบบจำหน่ายตามระดับแรงดันไฟฟ้าได้ 3 ระดับ คือ

- 1. สายส่งระบบ 115 และ 69 เควี
- 2. ระบบจำหน่าย 33 และ 22 เควี
- 3. ระบบจำหน่ายแรงต่ำ 400/230 โวลท์



รูปที่ 2.1 ระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 2.2 ระบบจำหน่าย 22 และ 33 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 2.3 ระบบจำหน่ายแรงต่ำ 400/230 โวลท์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2 ระบบการผลิตใฟฟ้าเอกชนรายย่อย

ระบบการผลิตของไฟฟ้าเอกชนรายย่อยสามารถจำแนกได้ตามความสามารถในการผลิต กำลังไฟฟ้าเป็นไปตามข้อกำหนดของระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภทได้แก่ [4], [5]

2.2.1 ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer : IPP)

รัฐมีนโยบายในการส่งเสริมให้เอกชนเข้ามามีบทบาทในการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2532 โดยตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ส่วนหนึ่งจะมีการรับซื้อไฟฟ้าจากเอกชนรายใหญ่ และ รายเล็ก (SPP) ซึ่งเป็นนโยบายที่รัฐส่งเสริมให้เอกชน เข้ามามีบทบาทมากขึ้น ในกิจการไฟฟ้าของ ประเทศ ทั้งนี้ได้กำหนดให้ กฟผ. มีการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตเอกชนรายใหญ่ ในระยะแรก ปริมาณ 3,800 เมกะวัตต์ ซึ่ง กฟผ. ได้ออกประกาศรับซื้อไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 15 ธันวากม พ.ศ.2537 เป็นต้นมา แต่เนื่องจากความต้องการไฟฟ้าในช่วงเวลานั้น เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คณะรัฐมนตรีจึงได้มีมติให้เพิ่ม การรับซื้อไฟฟ้า จากผู้ผลิตเอกชนรายใหญ่อีก 1,600 เมกะวัตต์ โดยให้อำนาจ กฟผ. พิจารณาเพิ่ม/ลด ได้ร้อยละ 20 โดยมีเงื่อนไขในการรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผู้ผลิตเอกชนรายใหญ่ที่มีลักษณะเป็น สากลโดยมีสาระสำคัญ ดังนี้

 ให้ผู้ผลิตเอกชนเป็นผู้เสนอพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยให้ความสำคัญกับ เชื้อเพลิงที่สะอาดเป็นที่ยอมรับของประชาชน ราคามีเสถียรภาพ มีความแน่นอนในการจัดหา และ ส่งเสริมนโยบายของรัฐในการกระจายแหล่งพลังงานของประเทศ ได้แก่ พลังงานนอกรูปแบบ (ไม่ รวมนิวเคลียร์) ก๊าซธรรมชาติทั้งที่ผลิตในประเทศและนำเข้า ถ่านหิน และออริมัลชั่น

2. ให้ผู้ผลิตเอกชนเป็นผู้เสนอสถานที่ตั้งโดยกำหนดลำดับความสำคัญของพื้นที่ใน ภาพกว้างเบื้องต้น สอดกล้องตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ในการพัฒนาเมืองหลัก เมืองรอง เพื่อการกระจายความเจริญไปสู่ภูมิภาค ประกอบกับการพิจารณาแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้า ปริมาณ กวามต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต และระยะห่างจากระบบสายส่งของ กฟผ. ดังนี้ ภาคกลางได้แก่เหนือ กรุงเทพฯ, สระบุรี, ลพบุรี, อ่างทอง, สิงห์บุรี, อยุธยา, นครนายก ฯลฯ ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยด้าน ตะวันตก ได้แก่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, เพชรบุรี, ราชบุรี, สมุทรสาคร, สมุทรสงคราม และชายฝั่ง ทะเลภาคตะวันออกได้แก่จังหวดชลบุรี, ระยอง, จันทบุรี, ปราจีนบุรี และสระแก้ว

3. เนื่องจาก กฟผ. เป็นผู้สั่งให้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบไฟฟ้า จึง กำหนดโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าเป็นสองส่วน (Two Part Tariff) ส่วนหนึ่งกำหนดจากต้นทุนในการ ก่อสร้างโรงไฟฟ้าของเอกชน และค่าใช้จ่ายคงที่อื่นๆ (Fixed Cost) ซึ่งเรียกว่า ค่าความพร้อมจ่าย (Availability Payment) และอีกส่วนหนึ่ง กำหนดจากค่าเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายผันแปรอื่นๆ ที่เกิดจาก การผลิตไฟฟ้า เพื่อจำหน่ายเข้าระบบของ กฟผ. ซึ่งเรียกว่า ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Payment) ทั้งนี้ โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าในส่วนแรก เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายไม่ว่า กฟผ.จะสั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากผู้ผลิตเอกชนหรือไม่ แต่โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าในส่วนหลังเป็นค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการ สั่งให้โรงไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าส่งเข้าระบบของ กฟผ. และจะผันแปรไปตามราคาเชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งใน กรณีที่เป็นโรงไฟฟ้าผอง กฟผ. เองแม้ว่าโรงไฟฟ้าจะไม่เดินเครื่อง กฟผ.ก็ต้องจ่ายค่าดอกเบี้ย เงินต้น และค่าใช้จ่ายคงที่อื่นๆ เช่นกัน ดังนั้นการจ่ายค่าความพร้อมจ่ายให้ IPP จึงอยู่บนหลักการเดียวกัน

4. โรงไฟฟ้าของผู้ผลิตเอกชนจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานทางค้านสิ่งแวคล้อมที่ทาง ราชการกำหนด โดยจะต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวคล้อม เพื่อขอความเห็นชอบ จากสำนักงานนโยบาย และแผนสิ่งแวคล้อม ก่อนดำเนินการก่อสร้างโครงการโดยในรายงานจะต้อง เสนอมาตรการ ที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวคล้อมได้จริง และมีความเหมาะสม รวมทั้งต้องมี มาตรการติคตาม ตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวคล้อม ซึ่งจะต้องกรอบคลุมทั้งในด้านคุณภาพของอากาศ และคุณภาพน้ำ เพื่อรายงานต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวคล้อมเพื่อ ทราบทุกระยะ กรณีที่จะมีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียคโครงการ และ/หรือ มาตรการลดผลกระทบ สิ่งแวคล้อม มาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวคล้อม จะต้องขอความเห็นชอบจากสำนักงาน นโยบายและแผนสิ่งแวคล้อม ก่อนดำเนินการเปลี่ยนแปลง

การคำเนินการประเมิน และคัคเลือกโครงการ IPP มีหลักเกณฑ์การประเมินทางปัจจัย ทางค้านราคา (Price Factors) โดยให้น้ำหนัก 60% ในการประเมินพิจารณาจากค่าความพร้อมจ่าย และ พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเชื่อมโยงกับระบบสายส่งของ กฟผ. ปัจจัยที่ไม่เกี่ยวกับราคา (Non-Price Factors) ให้น้ำหนัก 40% ประกอบค้วยการพิจารณาจากความเป็นไปได้ของโครงการ (Viability Of Project) ให้น้ำหนัก 25% ของเชื้อเพลิงและการกระจายตัวแหล่งเชื้อเพลิง (Fuel And Fuel Diversity) ให้น้ำหนัก 4% ปัจจัยอื่น (Other Factors)

การป้องกันผลกระทบต่อสภาวะแวคล้อมจากการที่โรงไฟฟ้าเอกชนต้องปฏิบัติตามมาตรฐาน และหลักเกณฑ์ที่รัฐกำหนด รวมทั้งต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวคล้อม ซึ่งจะต้อง ได้รับการอนุมัติจากสำนักงานนโยบาย และแผนสิ่งแวคล้อมซึ่งการผลิตมากกว่า 90 เมกะวัตต์



รูปที่ 2.4 ระบบการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระราชบุรี

2.2.2 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small Power Producer : SPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก หมายถึงโครงการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบการผลิตพลังงานความ ร้อน และไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration) หรือ การผลิตไฟฟ้าโคยใช้พลังงานนอกรูปแบบ กากหรือเศษ ้วัสคุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง โครงการ SPP แต่ละโครงการ จะจำหน่ายไฟฟ้าให้ กฟผ.ได้ไม่เกิน 90 เมกะ ้วัตต์ แต่เนื่องจาก SPP แต่ละแห่งสามารถขายไฟฟ้าให้ผู้บริโภค ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้โดยตรง กำลังการผลิตของ SPP มักจะอยู่ในระดับ 120-150 เมกะวัตต์ และ SPP บางโครงการมีขนาดใกล้เคียง กับ IPP แต่ใช้รูปแบบการผลิตเป็นระบบ Cogeneration ซึ่งทางคณะรัฐมนตรี ได้มีมติเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2535 เห็นชอบร่างระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก โดยการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ได้ออก ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ออก ประกาศการรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP งวคที่ 1 เมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2535 จำนวน 300 เมกะวัตต์ ให้ผู้สนใจ ยื่นข้อเสนอต่อ กฟผ. ต่อมาได้มีการขยายปริมาณการรับซื้อเป็นถำดับ โดยในกรั้งถ่าสุด เมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2539 คณะรัฐมนตรีได้มีมติให้งยายปริมาณการรับซื้อเป็น 3,200 เมกะวัตต์ สำหรับการรับ ซื้อไฟฟ้าในช่วงปี 2539 - 2543 และให้มีการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานนอกรูปแบบ กากหรือ ้วัสคุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป โคยไม่กำหนคปริมาณการรับซื้อไฟฟ้า ซึ่งวัตถุประสงค์ของการรับ ซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็กคือการส่งเสริมให้ผู้ผลิตรายเล็กเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า โดยให้ ้มีการใช้ต้นพลังงานพลอยได้ในประเทศ และพลังงานนอกรูปแบบในการผลิตไฟฟ้า มีการใช้ต้น พลังงานในการผลิตไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น [1] เพื่อช่วยแบ่งเบาภาระทางค้านการลงทุนของ รัฐในระบบการผลิต และระบบจำหน่ายไฟฟ้า และระเบียบของการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าราย เล็ก จะเป็นไปตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขการรับซื้อไฟฟ้าไว้ หลายประการ เช่น ลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้า การกำหนดราคารับซื้อไฟฟ้า และปริมาณการรับ ซื้อไฟฟ้า การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ซึ่งพอสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

 ปริมาณพลังไฟฟ้าที่เสนอขายไม่เกิน 60 เมกะวัตต์ ณ จุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ใน กรณีที่ผู้ผลิตรายเล็กต้องการขายไฟฟ้าเกิน 60 เมกะวัตต์ การไฟฟ้าจะคำนึงถึงความสามารถ และความ มั่นคงของระบบไฟฟ้า ที่จะรับได้ โดย กฟผ. พิจารณาเป็นรายๆ ไป แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกิน 90 เมกะวัตต์

2. ลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตรายเล็กการผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานนอก รูปแบบ (Non-Conventional Energy) เช่น พลังลม พลังแสงอาทิตย์ พลังน้ำขนาดเล็ก (Mini Hydro) เป็นด้น (ยกเว้นการใช้น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และพลังงานนิวเคลียร์) หรือ การผลิตไฟฟ้าของ ผู้ผลิตรายเล็ก โดยใช้เชื้อเพลิงกากหรือเสษวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร หรือกากจากการผลิต ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือการเกษตร ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากกากหรือเสษวัสดุเหลือใช้จาก การเกษตร หรือจากการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือการเกษตร ขยะมูลฝอย ไม้จากการปลูกป่า เป็นเชื้อเพลิงรวมทั้งการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบการผลิตพลังงานความร้อน และไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration) โดยใช้เชื้อเพลิงใดก็ได้ โดย มีสัดส่วนของพลังงานความร้อน คิดจากการผลิตไฟฟ้า ต่อการผลิตทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยเฉลี่ยถ้าใช้น้ำมัน และ/หรือก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง จะต้องมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าร้อยละ 45 โดยเฉลี่ย

 ประเภทของสัญญา การทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้า ตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปมีการจ่ายค่าพลัง ไฟฟ้า (Capacity Payment) และการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าไม่เกิน 5 ปี และจะได้รับเฉพาะค่าพลังงาน ไฟฟ้า (Energy Payment)

 4. ค่าใช้จ่ายของผู้ผลิตรายเล็ก ได้แก่ค่าใช้จ่ายในการต่อเชื่อมระบบไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายใน การและตรวจสอบอุปกรณ์

5. เงื่อนไขการปฏิบัติการผลิตไฟฟ้าผู้ผลิตรายเล็กจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไข ซึ่งจะต้อง ผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้า ในช่วงเดือนที่ระบบของการไฟฟ้า มีความต้องการสูง (Peak Month) คือ เดือนมีนาคมถึงตุลาคม โดยมีจำนวนชั่วโมงที่ผลิตไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้ารวมทั้งปี ไม่น้อย กว่า 7,008 ชั่วโมง กรณีผู้ผลิตรายเล็กที่มีลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยใช้กากหรือเสษวัสดุ เหลือใช้ในการเกษตร หรือกากจากการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิง จะต้องมีจำนวนชั่วโมงในการผลิต ไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้า รวมทั้งปีไม่น้อยกว่า 4,672 ชั่วโมง ทั้งนี้จะต้องผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า ให้แก่ การไฟฟ้าในเดือน เมษายน, พฤษภาคม และมิถุนายน จะต้องสามารถผลิต และจ่ายพลังไฟฟ้าเพิ่ม ให้ การไฟฟ้าในเดือน เมษายน, พฤษภาคม และมิถุนายน จะต้องสามารถผลิต และจ่ายพลังไฟฟ้าเพิ่ม ให้ การไฟฟ้าตามปริมาณ และระยะเวลาที่การไฟฟ้าสั่งการ จะต้องผลิตไฟฟ้าให้มีคุณภาพ ตามระเบียบว่า ด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า จะต้องสามารถลดการจ่ายพลัง ไฟฟ้าลง ในช่วงที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) คือเวลา 21.30-08.00 น. ให้เหลือไม่ต่ำกว่าร้อยละหกสิบห้า (65%) ของพลังไฟฟ้าตามสัญญา สำหรับผู้ผลิตรายเล็กที่ ตั้งอยู่ในจังหวัคฉะเชิงเทรา, ปราจีนบุรี, ชลบุรี, ระยอง, จันทบุรี และตราค จะต้องสามารถลคการจ่าย พลังไฟฟ้าในช่วงที่การไฟฟ้า มีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำ ลงเหลือไม่ต่ำกว่าร้อยละสี่สิบ (40%) ของ พลังไฟฟ้าตามสัญญาในช่วงระยะเวลาก่อนที่การก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าระบบ 500 เควี จะเสร็จ เรียบร้อยประมาณปี 2544

6. การรับประกันการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าขั้นต่ำ กฟผ.จะรับซื้อพลังงานไฟฟ้าจาก ผู้ผลิตรายเล็กในปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละแปดสิบ (80%) ของความพร้อมของผู้ผลิตรายเล็กในรอบ หนึ่งปีหากรับซื้อไม่ครบในปีใด กฟผ. จะรับซื้อให้ครบในปีถัดไปในกรณีที่ไม่สามารถรับซื้อได้ครบ ตามปริมาณที่กำหนด เป็นปีที่สอง กฟผ. จะชำระค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ขาด ตามอัตราค่าพลังงาน ไฟฟ้าเฉลี่ยในรอบปีที่สอง โดยผู้ผลิตรายเล็กจะด้องจ่ายคืนพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวแก่การไฟฟ้าฝ่าย ผลิตแห่งประเทศไทยในปีถัดๆ ไป



รูปที่ 2.5 ระบบการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยจนะ

2.2.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก มาก (Very Small Power Producer :VSPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก หมายถึงผู้ผลิตไฟฟ้า ทั้งภาคเอกชน รัฐบาล รัฐวิสาหกิจ และประชาชนทั่วไปที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเอง มีลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยมีปริมาณ พลังไฟฟ้าขายเข้าระบบไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ จากพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในธรรมชาติ เมื่อใช้หมดไป แล้วสามารถผลิตทดแทนได้ใหม่ในระยะเวลาอันสั้น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, พลังน้ำ พลังงานคลื่นทะเลหรือมหาสมุทร, พลังงานกวามร้อนใต้พิภพ, พลังงานชีวะมวล, พลังงานจากก๊าซ ชีวะภาพ รวมถึงพลังงานขั้นที่สองที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนตามที่กล่าวมา เช่น เชื้อเพลิงจากพืช (Biofuel) เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้นทั้งนี้ไม่รวมถึงพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปหรือแหล่ง ทรัพยากรมีจำกัด เช่น พลังงานที่ได้จากถ่านหิน, หินน้ำมัน, ทรายน้ำมัน, น้ำมันดิบ, น้ำมันเชื้อเพลิง, ก๊าซธรรมชาติ และนิวเคลียร์ ซึ่งมีรายละเอียด และรูปแบบกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้

 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังลม พลัง แสงอาทิตย์ พลังน้ำขนาดเล็ก (Mini Hydroelectricity) พลังน้ำขนาดเล็กมาก (Micro Hydro Electricity) พลังคลื่นทะเลหรือมหาสมุทร พลังความร้อนใต้พิภพ และก๊าซชีวภาพ เป็นต้น 2. การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงคังต่อไปนี้

ก) กากหรือเศษวัสคุเหลือใช้ในการเกษตร หรือกากจากการผลิตผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม หรือการเกษตร

ข) ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร หรือจากการ ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือการเกษตร

ค) ขยะมูลฝอย

 ง) ไม้จากการปลูกป่าเป็นเชื้อเพลิงซึ่งผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ใช้เชื้อเพลิง ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ เช่นน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เสริมได้ แต่ทั้งนี้พลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงเสริมในแต่ละรอบปีไม่เกินร้อยละ 25 ของ พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในรอบปีนั้นๆ

 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่ได้มาจากกระบวนการผลิต การใช้ หรือการขนส่ง เชื้อเพลิง ได้แก่

ก) พลังงานที่เหลือทิ้งเช่นไอน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม หรือการเกษตร

ข) พลังงานสูญเสีย เช่น ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์

ค) พลังงานที่เป็นผลพลอยได้ เช่น พลังงานกลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปรับลด ความดันของก๊าซธรรมชาติ ทั้งนี้ไม่รวมถึงการใช้พลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปมาผลิตไฟฟ้า โดยตรง

2.3 การศึกษาเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในประเทศต่างๆ

จากการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในหลายประเทศ [7] พบลักษณะของการเกิด การแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เป็นผลทำให้เกิดความเสียหาย และยากต่อการจัดการในหลายประเทศดังที่ได้มีการบันทึกผลไว้ดังนี้

2.3.1 ประเทศศรีลังกา ค.ศ. 1995

ประเทศศรีลังกามีการผลิตทั้งหมดเท่ากับ 1,385 เมกะวัตต์ ในปี ค.ศ. 1995 ซึ่งกำลังการ ผลิตจากเงื่อนจากการติดตามเหตุการณ์ไฟฟ้าดับทั้งประเทศเมื่อวันที่ 2 เดือน พฤษภาคม ปี ค.ศ. 1995 ระบบการใช้พลังงานสูงสุดเท่ากับ 981 เมกะวัตต์ สายส่งระดับแรงดัน 220 เกวี สองเส้น ระหว่างเมือง โกเมล และเมืองไบยากามา สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 500 เมกะวัตต์ ครอบคลุมถึงพื้นที่ เมืองโคลัมโบ ซึ่งเกิดฟ้าผ่าลงในสายส่งระยะทางประมาณ 26 กม. จากเมืองไบยากามาเป็นเหตุให้สาย ส่งปลดวงจรออกด้วยรีเลย์ตรวจจับระยะทาง และสายส่งเส้นที่สองก็ปลดวงจรออกตามมาไม่ถึงหนึ่ง วินาที การปลดออกของสายส่งทั้งสองวงจรนี้เป็นเหตุให้การส่งกำลังไฟฟ้า 500 เมกะวัตต์ ในพื้นที่ เมืองโคลอมโบล้มเหลว และแรงดันไฟฟ้าตกลงตามมาเป็นเหตุให้การส่งกำลังไฟฟ้า 500 เมกะวัตต์ จากการวิเคราะห์เหตุการณ์ดังกล่าวนำพาไปสู่การปฏิบัติเมื่อเกิดการปลดวงจรของสายส่งเส้นใดเส้น หนึ่ง และจากเหตุการณ์ดังกล่าวถูกเฝ้าสังเกตและหาแนวทางป้องกันเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นอีกใน อนาคตต่อไป

2.3.2 กลุ่มประเทศสเกนดิเนเวียร์ เดือน มกราคม ค.ศ. 1997

การแกว่งของกำลังไฟฟ้าความถี่ต่ำไม่คงที่ส่งผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าดับของระบบ ผลิตโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศสวีเดน ในปีค.ศ. 1997 สิ่งรบกวนในระบบไฟฟ้าที่สำคัญจากระบบ การผลิตของนอร์เดิล เกิดจากใช้โหลดที่สูงขึ้นเนื่องจากเครื่องทำความร้อนในฤดูหนาว ซึ่งกำลังไฟฟ้า นำเข้าจากประเทศเดนมาร์กผ่านประเทศสวีเดนส่งผ่านไปยังประเทศนอร์เวย์ โดยเกิดความผิดพลาด ขึ้นจากการรบกวนขนาดใหญ่ในระบบแรงดัน 400 เกวี ที่สเตนดูเล็น และสามารถเคลียร์ตัวเองได้ใน เวลา 60 วินาที ผลจากความผิดพร่องดังกล่าวส่งผลให้สายที่ต่อเชื่อมต่อปลดตัวเองออกส่งผลทำให้เกิด การแกว่งของกำลังไฟฟ้าตามมา อย่างไรก็ตามสี่วินาทีหลังจากการเกิดความผิดพร่องเริ่มต้น สายส่ง เส้นที่สองรับภาระโหลดเกินส่งผลให้การเชื่อมโยงและส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งแย่ลงส่งผลทำ ให้ระบบการผลิตผิดพลาด สายส่งดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของกำลังประมาณ 0.5 เฮิรตซ์ ลำดับภาวะฉุกเฉินดังกล่าวถูกเฝ้าจับตามองในประเทศแถบสแกนดิเนเวียอย่างกว้างขวางเพื่อหา แนวทางป้องกันและรับมือในเวลาต่อมา

2.3.3 การรบกวนของระบบการผลิตไฟฟ้า และเชื่อมโยงทางภาคใต้ของประเทศจีน

การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทางภากใต้ของประเทศจีนในสามจังหวัดได้แก่จังหวัดกุ๋ยซุน, ยู นาน และกังซีในพื้นที่ปกครองพิเศษของฮ่องกง เมื่อวันที่ 23 มี.ก., 6 มี.ก. และ 7 เม.ย. ในปี ค.ศ. 2003 มีห้าเหตุการณ์ที่เกิดจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าความอี่ต่ำของระบบไฟฟ้ากำลังผ่านระบบการ ควบคุม แต่ไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าดับกับลูกค้าซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวได้มีการบันทึกและศึกษาวิจัย ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในซึ่งก่อนการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าความอี่ต่ำของพื้นที่กุ๋ยซุนซึ่งจัดการ ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในรูปแบบไอแลนดิ่ง และการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความอี่ต่ำของพื้นที่กุ๋ยซุนซึ่งจัดการ ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในรูปแบบไอแลนดิ่ง และการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงตามเงื่อนไขอย่างปกติ ความอี่ปกติของระบบส่งจ่ายอยู่ที่ 49.92 เฮิรตซ์ และระดับแรงดันอยู่ในสภาวะปกติ ซึ่งในตอนเช้าของ วันที่ 6 มี.ค. เมื่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้ารั่วปิงในพื้นที่ยูนานไปยังสถานีไฟฟ้ามาวูใน พื้นที่กังซีโหลดประมาณ 800 เมกะวัตต์ เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่กวามอี่ 0.4 เฮิรตซ์ ทำให้ขนาด ของกำลังไฟฟ้าลดลงเหลือ 255 เมกะวัตต์ ระบบทำการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่กวามอี่ 0.4 เฮิรตซ์ ทำให้ขนาด การยกระดับแรงดันให้เพิ่มสูงขึ้น, ลดการส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบในพื้นที่ยูนาน และเพิ่มการส่ง กำลังไฟฟ้ากระแสตรงในสายส่งจาก 800 เมกะวัตต์ เป็น 1,000 เมกะวัตต์ ทำให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กลับมาเป็นปกติอีกครั้งหนึ่ง

2.3.4 สหรัฐอเมริกาตะวันตก/แคนนาดา ปี ค.ศ. 1996

ไฟฟ้าดับในวันที่ 10 สิงหาคม ในปี ค.ศ.1996 ทางชายฝั่งทะเลตะวันตกของอเมริกา เป็นผลจากกวามไม่มั่นคงจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลทำให้ โหลดขนาด 30,390 เมกะวัตต์ สูญเสียไปถึงสี่พื้นที่ของทางด้านตะวันตกจากสิ่งรบกวนเนื่องจาก อากาศที่ร้อนขึ้นส่งผลทำให้การเพิ่มขึ้นของโหลดที่สูงขึ้นตามมา และมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระดับสูง จากพลังงานน้ำที่ได้จากเขื่อนในแคนาดาและทางตะวันตกเฉียงเหนือแกลิฟอร์เนียมาช่วย อย่างไรกี ตามการถ่ายเทโหลดอย่างไม่ได้ระมัดระวังทำให้เกิดภาระโหลดเกินในสายส่งระดับแรงดัน 500 เควี ของออโลนกีลเลอร์ ทำให้สายส่งดังกล่าวหย่อนลง และสัมผัสกับต้นเกิดผิดพร่องขึ้นในสายส่งระบบ ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และสายส่งดังกล่าวถูกปลดออกด้วยรีเลย์ป้องกัน ซึ่งสายส่งจ่ายโหลดอยู่ถึง 1,300 เมกะวัตต์ ส่งผลให้สายส่งระดับแรงดัน 115 และ 230 เกวี ที่พาดขนานกันเกิดแรงดัน และโหลดเพิ่ม สูงขึ้นเกินขึ้นเป็น 115% ในพื้นที่ต่างๆได้แก่พื้นที่โคลัมเบียเป็น 508 เกวี ที่แฮนฟอร์ดแรงดัน 504 เกวี ที่บิ๊กเอ็ดดี่แรงดัน 510 เกวี และที่แม็กนารี่ 505 เกวี และไม่ถิ่นาทีต่อมาที่เมอรี่วินสายส่งระดับแรงดัน 115 เกวี ปลดตัวเองออกเนื่องจากโหลดเกิน และที่ระบบแรงดัน 230 เกวี ที่เล็กซิ่งตันสายส่งหย่อน สัมผัสต้นไม้ ซึ่งสายส่งทั้งสองเส้นนี้พาดขนานกับสายส่งระดับแรงดัน 500 เกวี ของออโลนคีลเลอร์ จากผลดังกล่าวส่งผลให้ระบบการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่าง พื้นที่ความถี่ด่ำประมาณ 0.224 เฮิรตซ์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกาตะวันตก / แคนนาคา

2.3.5 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไต้หวัน

ในปี ค.ศ. 1984 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศได้หวันมีประสบการณ์การเกิด การแกว่งของกำลังไฟฟ้าครั้งแรกระหว่างพื้นที่ซึ่งระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าทางภาคเหนือเป็นโรงจักร พลังงานนิวเคลียร์สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนแต่ก็ไม่สามารถช่วยทำให้ลดการเกิดการ แกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ได้ซึ่งโหลดสูงสุดประมาณ 8,517 เมกะวัตต์ จากเดือนมีนาคม ในปี ค.ศ.1984 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ.1986 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สาย ้ส่งแรงคันสูงวงจรที่สอง และระบบการผลิตในพื้นที่ภาคกลาง และทางภาคใต้เปลี่ยนแปลงไป การ ตอบสนองของระบบกระตุ้นที่ปั้มควบคุมในพื้นที่ภาคกลางครั้งแรกเมื่อโหลดสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 8,716 เมกะวัตต์ จากเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในปี ค.ศ. 1985 ความต้องการสูงสุดประมาณ 55.1 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างช่วงเวลาในเดือนมีนาคม ปี ค.ศ.1985 (ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ.1991 เกิดระบบการผลิต เพิ่มขึ้น และมีการเพิ่มสายส่งในระบบเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นในพื้นที่ภาคเหนืออย่างรวดเร็ว และ ้ความไม่สมคุลกันระหว่างพื้นที่ก็เกิดขึ้นอีกเป็นผลงากการไหลของโหลดในสายส่งแรงคันสูงอีกครั้ง หนึ่ง และตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาก็เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้ามาโดยตลอด การแกว่งของกำลังไฟฟ้า ระหว่างพื้นที่เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนในเดือนสิงหาคม ในปี ค.ศ.1989 ระบบควบคุมแรงดัน อัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator) ที่โรงจักรพลังงานนิวเคลียร์ถึงสามโรงจากโหลดที่เพิ่มขึ้น ถึง 14,511เมกะวัตต์ และจากเดือนมีนาคม ในปี ค.ศ.1991 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ.1992 เกิดปัญหาการ แกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ในพื้นที่ภาคกลางเนื่องจากโหลคเพิ่มขึ้นสูงสุดขนาด 15,321 เมกะ วัตต์ และในขณะที่สายส่งกำลังไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้สูงสุดประมาณ 2,000 เมกะวัตต์ ซึ่งจากการ บันทึกเหตุการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1984 ถึง 1992 ในฤดูใบไม้ผลิถึงในฤดู หนาว ซึ่งความถี่ของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1 เฮิรตซ์ ในเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 25 นาที รายละเอียดแสดงได้ในตารางที่ 2.1

Classification		No. of Events
	1984	4
	1989	1
Occurred year	1990	3
	1991	7
	1992	1
	Spring	9
Occurrent accord	Summer	0
Occurred season	Autumn	1
	Winter	6
Custom lood	Heavy load	5
System load	Light load	11
	<= 1 min	3
Sustained duration	>1,<= 5 min	5
Sustained duration	> 5,<= 25 min	6
	>= 60 min	2
6	$0.78 \sim 0.98 \; \mathrm{Hz}$	9
Oscillation frequency	0.90 ~ 0.99 Hz	6
25	1.00 ~ 1.05 Hz	1

ตารางที่ 2.1 จำนวนครั้งการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ที่เกิดขึ้นในประเทศไต้หวัน

จากตารางที่ 2.1 สามารถสรุปเสถียรภาพไดนามิคที่เกิดขึ้นในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของ ประเทศไต้หวันซึ่งเป็นผลมาจาก

 การตั้งค่าเกณฑ์ที่คาดการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโรงจักรไฟฟ้ากับ ความต้องการที่แท้จริงในแต่ละปีไม่ไปตามที่กาดการณ์ไว้

2. เกิดการใหลของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่อย่างสูงในพื้นที่อย่างไม่สมดุล

- 3. โครงสร้างการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่แข็งแรงตามความยาวของพื้นที่ระหว่างภาค
- 4. ปั้มต้นกำลังระบบผลิตไฟฟ้า ในโหลดการดำเนินการควบคุมไม่เป็นไปตามที่ตั้งไว้

2.3.6 ประเทศไทยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2542

การแกว่งของกำลังไฟฟ้าในวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2542 เป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟฟ้าดับ ในพื้นที่ภาคใต้ ต้นเหตุของปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเกิดจากเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าใน ช่วงเวลานั้น และการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในช่วงเวลานั้นสามารถทำให้การแกว่งของกำลังไฟฟ้าลด น้อยลงได้โดยอาศัยการศึกษาระบบไฟฟ้าที่เงื่อนไขต่างๆ และหลีกเลี่ยงจุดทำงานที่มีเสถียรภาพต่ำ ด้วยวิธีการเลือกการบริหารจัดการอย่างมีระบบ และมีขั้นตอนซึ่งการเพิ่มขึ้นของระบบการผลิตและ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเนื่องจากปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้นรวมถึงการเพิ่มขึ้นของความมั่นคง ของระบบไฟฟ้าเป็นเหตุให้ระบบไฟฟ้ามีความซับซ้อน และยากต่อการควบคุมทำให้การบริหาร จัดการระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้

จากการศึกษาผลการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ได้มีบันทึกไว้พบว่าการเกิดการ แกว่งของกำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นเนื่องจากการปลดตัวเองของสายส่งเส้นใดเส้นหนึ่งจากความผิดพร่องขึ้น ในระบบส่งกำลังเอง, เกิดความไม่สมดุลขึ้นของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่รวมถึงโครงสร้างของสายส่ง กำลังไฟฟ้าที่ไม่แข็งแรงตามความยาวระหว่างพื้นที่ของสายส่งเอง, เกิดความร้อนสูงในสายส่ง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น, การควบคุมระบบต้นกำลังไม่เป็นไปตามที่ตั้งไว้, การเพิ่มขึ้นของโหลด อย่างรวดเร็วกว่าค่าที่ได้กาดการณ์ไว้ในแต่ละปี, เกิดภาวะโหลดเกินในสายส่งกำลังไฟฟ้าทำให้สาย หย่อนสัมผัสต้นไม้ รีเลย์ป้องกันทำการปลดสายส่งออก และเมื่อเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทำให้สาย หย่อนสัมผัสต้นไม้ รีเลย์ป้องกันทำการปลดสายส่งออก และเมื่อเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าขึ้นใน ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ด้วยการยกระดับแรงดันให้เพิ่มสูงขึ้นจากชุด กวบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) หรือชุดควบคุมกวามถิ่ของระบบ (Load Frequency Control, LFC), ชุดชดเชยกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติต่างๆ รวมถึงการลดการส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่นั้นๆลง หรือการเพิ่มการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอย่างรวดเร็วในกรณีที่เป็นสาย ส่งระบบกระแสตรงเป็นด้น

2.4 บทความวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Mithulananthan N, S.C.Srivastava [21] เป็นการศึกษาถึงการทบทวนสาเหตุความล้มเหลว ของระบบไฟฟ้าในประเทศลังกา ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 2 เดือน พฤษภาคม ในปี ค.ศ. 1995 ระบบการส่ง ง่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศศรีลังกาเมื่อพิจารณาในรูปแบบของสภาวะคงตัว และสภาวะที่มีการปลี่ยน แปลงอยู่ตลอดเวลาผลการศึกษาพบว่าระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดังกล่าวถูกรบกวนจากสาเหตุการดับ ของสายส่งกำลังไฟฟ้าเส้นหนึ่งส่งผลให้เกิดการรับภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นของสายส่งอีกเส้นหนึ่งซึ่งผล ดังกล่าวทำให้เกิดการสัญญาณรบกวนขึ้นในสายส่งที่เหลือทำให้เกิดไฟฟ้าดับตามมาซึ่งเหตุการณ์ ดังกล่าวได้มีการทบทวนเพื่อหามาตรการป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวซ้ำขึ้นอีก

Mithulananthan N [22] เป็นบทความที่กล่าวถึงการปรับแต่งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ชดเชยการแกว่ง ของกำลังไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่งกำลังในสภาวะที่ปกติ และกรณี เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยชุดควบคุม Power System Stabilizer (PSS) และ Shunt Static Synchronous Compensator (STATCOM) ได้อย่างกรอบกลุมระบบการส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าซึ่งจากการทดสอบการปรับแต่งทำให้ทราบถึงขีดความสามารถของอุปกรณ์ FACTS Controller และ PSS Padiyar K.R. and Prakash V.S. [19] เป็นบทความที่ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการปรับตำแหน่ง ชุดควบคุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยชุดควบคุมแรงคัน STATCOM ได้อย่างเหมาะสมโดยใช้ เทคนิคการวิเคราะห์ eigenvalue มาใช้พิจารณาเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

Pourboghart F, Farid F, Hatziadoniu C.J, Daneshdoost M, Mehdian F and Lotfalian M [24] เป็นบทความที่กล่าวถึงการควบคุมที่ปรับค่าได้ของชุดควบคุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัย หลักการฟังก์ชั่นอัลกอลิทึมของคอมพิวเตอร์ในการออกแบบการหาตำแหน่งการติดตั้งชุดควบคุม Static Var Compensator, SVC ด้วยการเพิ่มของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เพื่อใช้ชดเชยการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ในสายส่งกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

Mithulananthan N, Canizares C.A, Reeve J. and Rogers G.J. [23] เป็นบทความที่อธิบายถึง ความแตกต่างของเทคนิคการการชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ด้วยชุดควบคุมการ แกว่งของกำลังไฟฟ้า Power System Stabilizer (PSS), Static Var Compensator (SVC) และ Shunt Static Synchronous Compensator (STATCOM)

Canizares C.A, Mithulananthan N, Milano F and Reeve J [25] เป็นบทความที่นำเสนอถึง การศึกษาและเสนอข้อคิดเห็นของค่าดัชนีต่างๆที่จะทำการพยากรณ์ และค้นหาความไม่เป็นเชิงเส้น ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การเริ่มต้นของปัญหาค่าความคงตัวของเครื่องมือวัดการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าในโหมดพื้นที่ และโหมดการแกว่งกำลังซิงโครนัสถูกแสดงด้วยค่าดัชนี และค่า องค์ประกอบซึ่งการนำเสนอข้อคิดเห็นที่มีผลเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์รวมกับโปรแกรม กอมพิวเตอร์ช่วยพยากรณ์เสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

คณะทำงานวิจัยการไฟฟ้าฝ่ายผลิต [3] เป็นการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ ของภาคกลาง และภาคเหนือซึ่งจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSS/E โดยลดขนาดของการศึกษาลง ซึ่งสมมติให้โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นตัวแทนของโรงไฟฟ้าภาคเหนือ และเชื่อมโยงระบบการผลิตในภาค กลางซึ่งมีขนาดใหญ่ แทนด้วยระบบที่เป็น Infinite Source ส่งข่ายกำลังไฟฟ้าด้วยระดับแรงดัน 500 เกวี จำนวน 3 วงจร เป็นกรณีตัวอย่างซึ่งพบว่าเมื่อเกิดสิ่งรบกวนการถ่ายเทกำลังไฟฟ้า (Power Transfer) จะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าขึ้นในสายส่งที่มีภาระน้อย (Light Load) รุนแรงกว่าสายส่ง ที่มีภาระโหลดมาก (Heavy Load) เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าบนสายส่งที่มีปริมาณมากกว่าปกติ และ ถ้าเพิ่มปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นของระบบการผลิตในแบบจำลองระบบจะขาดเสถียรภาพ ในที่สุดซึ่งแนวทางแก้อย่างง่ายทำได้โดยการลดกำลังการผลิตในฟฟ้าที่ผ่านสายส่งสงนอกจากนั้นใน การศึกษายังพบว่าเมื่อปลดสายส่งออกเส้นใดเส้นหนึ่งออกจากระบบก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิด การแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่รุนแรงในขณะที่การเพิ่มระดับของแรงดันในสายส่งมีผลทำให้ความรุนแรง ของการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าลดน้อยลง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบเพื่อลดการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าได้แก่ชุดควบคุมเสถียรภาพระบบ Power System Stabilizer (PSS) จากบทความที่ได้ทำการศึกษาทำให้ทราบถึงเทคนิคและวิธีการชดเชยการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าหลายชนิดได้แก่ Power System Stabilizer (PSS), Static Var Compensator (SVC) และ Shunt Static Synchronous Compensator (STATCOM) เป็นด้น และการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าขึ้นในสายส่งในแบบ และโหมดต่างๆ หลักการและ เทคนิคในการพยากรณ์การแกว่งของกำลังไฟฟ้า, การควบคุม และติดตั้งชุดชดเชยการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าในจุดที่เหมาะสมที่สุด, การเปรียบเทียบชุดชดเชยในแบบต่างๆ และสมการทาง คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง, การพยากรณ์การแกว่งของกำลังไฟฟ้ารด้วยค่าดัชนี และค่าองก์ประกอบต่างๆ สำหรับนำไปประยุกต์รวมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยพยากรณ์ถึงเสถียรภาพของระบบส่งจ่าย กำลังไฟฟ้า


บทที่ 3 ทฤษฎีและสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทำให้สามารถทราบถึงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าใน แบบต่างๆ โดยสรุปได้ถึงสี่รูปแบบด้วยกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะได้ทำการศึกษาสองแบบได้แก่การ แกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่ง หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่องที่ อยู่ใกล้กันตอบสนองโต้ตอบกับระบบที่เหลือซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า (Local Plant Mode) และการแกว่ง ของกำลังไฟฟ้าเนื่องจากการโต้ตอบของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลุ่มหนึ่งกับกลุ่มของเครื่องกำเนิด กลุ่มอื่นๆ (Inter Area Mode) ซึ่งการศึกษาทฤษฎี และสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ เสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ระบบจำหน่าย ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตลอดจนศึกษาการชดเชยความถิ่งณะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าทั้งสอง แบบ

3.1 การแกว่งของกำลัง ไฟฟ้า (Power Oscillation)

แกว่งในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งตามความถี่ได้ 4 ประเภท [3] ได้แก่

3.1.1 Local Plant Mode เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลาย เครื่องที่อยู่ใกล้กันตอบสนองโต้ตอบกับระบบที่เหลือซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ากวามถี่ที่เกิดอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 2 เฮิรตซ์

3.1.2 Inter Area Mode เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจากการโต้ตอบของกลุ่มเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากลุ่มหนึ่งกับกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลุ่มอื่นๆในระบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ามีความ ซับซ้อนมากกว่า Local Plant Mode เนื่องจากจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ชนิดของอุปกรณ์ควบคุม, การเชื่อมต่อถึงกัน และสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความถิ่จะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 เฮิรตซ์

3.1.3 Control Mode เกิดจากการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุมภายในระบบที่ไม่เหมาะสม เช่น Governor หรือ SVC Regulator

3.1.4 Tensional Mode เป็นการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่แกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกังหันไอน้ำความถี่จะอยู่ในช่วง Sub Synchronous Frequency

3.2 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stability)

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง [8], [9] จะมีความสมคุลระหว่างกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ กับ ความสามารถในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบรวมกันถ้าเกิดมีเหตุการณ์ที่ทำ ให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นไม่ว่าจะเป็นสาเหตุอื่นใดก็ตามหากระบบยังมีความสามารถกลับเข้ามาสู่ สภาวะสมดุลได้เรียกว่า "ระบบยังมีเสถียรภาพ" ซึ่งตัววัดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังก็คือ ความถี่ และแรงดัน การศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งตามชนิดและขนาดของ สิ่งรบกวน (Disturbance) ได้สามรูปแบบคือ เสถียรภาพชั่วครู่ (Transient Stability) เสถียรภาพคงตัว (Steady State Stability) และเสถียรภาพพลวัต (Dynamic Stability)

3.2.1 เสถียรภาพชั่วครู่ (Transient Stability) เกิดจากระบบมีสิ่งรบกวนขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดขึ้น อย่างรวดเร็ว และฉับพลันได้แก่เกิดการลัดวงจรในระบบ การปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ หรือการเปลี่ยนแปลงของโหลดขนาดใหญ่ในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นต้น

3.2.2 เสถียรภาพคงตัว (Steady State Stability) เกิดจากระบบมีสิ่งรบกวนซึ่งมีขนาดเล็กๆ และเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ได้แก่การเพิ่ม หรือลดของโหลดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นต้น

3.2.3 เสถียรภาพพลวัต (Dynamic Stability) เกิดจากระบบมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้น ได้แก่ปลด โหลดขนาดขนาดใหญ่ออกจากระบบทำให้เกิดการแกว่งของไฟฟ้ากำลัง (Power Oscillation) ในรูป ของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป

3.3 สมการการแกว่ง (Swing Equation)

โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจจะหมุนเร็วขึ้นหรือช้าลง ซึ่งจะส่งผลต่อ Synchronously Rotating Air Gap MMF ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดความเร่ง และมีการเคลื่อนที่แบบพลวัต (Dynamic Motion) เกิดขึ้น เรียกสมการที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบพลวัตนี้ว่า "สมการการแกว่งของ กำลังไฟฟ้า" (Swing Equation) [8], [9] และเมื่อพิจารณาที่สภาวะคงตัว (Steady State Condition) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วซิงโครนัส โดยไม่คิดค่าความสูญเสียภายในเครื่องกำเนิดจะ พบว่าระบบไฟฟ้ากำลังจะสมดุลเมื่อกำลังทอร์กทางกลจะเท่ากับกำลังทางไฟฟ้าดังสมการที่ (3.1)

$$T_m = T_e \tag{3.1}$$

เมื่อพิจารณาเมื่อสิ่งรบกวนในระบบ (Disturbance) พบว่า *T_m* ≠ *T_e* ขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งรบกวนที่ เกิดขึ้นและมีทอร์กอัตราเร่ง (Accelerating Torque, *Ta*) เกิดขึ้นบนโรเตอร์ แบ่งเป็น Accelerating (*Tm* > *Te*) และ Decelerating (*Tm* < *Te*) เขียนสมการได้ดังสมการที่ (3.2)

$$T_a = T_m - T_e \tag{3.2}$$

สามารถเขียนสมการในรูปโมเมนต์กวามเฉื่อย (Moment Of Inertia) ได้เป็นดังสมการที่ (3.3)

$$J\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$$
(3.3)

เมื่อ J คือ โมเมนต์ความเฉื่อขของ Prime Mover และ Generator และ $heta_m$ มุมการเคลื่อนที่ของโร เตอร์ โดยเทียบกับแกนอ้างอิงของสเตเตอร์



รูปที่ 3.1 เวกเตอร์ของแกนโรเตอร์ภายในสภาวะปกติมุมทางไฟฟ้าจะคงที่

เมื่อความเร็วโรเตอร์สัมพันธ์กับความเร็วสเตเตอร์การวัดตำแหน่งมุมโรเตอร์จะใช้การเทียบ กับแกนอ้างอิงโดยหมุนที่ความเร็วซิงโครนัสเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการที่ (3.4)

$$\theta_m = \omega_{sm} t + \delta_m \tag{3.4}$$

เมื่อ ω_m คือ ความเร็วซิงโครนัสของเครื่องจักรกล [rad/s]

δ_m คือ มุมการเคลื่อนที่ (Angular Displacement) ของโรเตอร์ เทียบกับแกนอ้างอิง ก่อนเกิด
การรบกวน (t = 0) และความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ (Rotor Angular Velocity) ได้ดังสมการที่ (3.5)

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{ms}t + \frac{d\delta_m}{dt}$$
(3.5)

อัตราเร่งของโรเตอร์ Rotor Acceleration) หาได้ดังสมการที่ (3.6)

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{ms}t + \frac{d\delta_m}{dt}$$

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2}$$
(3.6)

นำสมการที่ (3.6) แทนในสมการที่ (3.3) จะได้เป็นสมการที่ (3.7)

$$J\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_m - T_e \tag{3.7}$$

คูณด้วย ω_m ทั้ง 2 ข้างของสมการ โดยที่ $\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt}$ จะได้สมการที่ (3.8)

$$J\omega_m \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \omega_m T_m - \omega_m T_e$$
(3.8)

เมื่อ $J\omega_m$ คือ ค่าคงที่ความเนื่อย (Inertia Constant, M)

โดยที่ M มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์สะสมของการหมุน (Wk) (Kinetic Energy Of The Rotating Masses) และสามารถเขียนอยู่ในเทอมของกำลังไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (3.9)

$$J\omega_m \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = P_m - P_e \tag{3.9}$$

ซึ่งค่า M จะไม่คงที่ถ้าความเร็วโรเตอร์ ω_m เบี่ยงออกความ ω_{sm} ซึ่งในทางปฏิบัติ ค่า ω_m จะไม่ต่าง จาก ω_{sm} มากนักเมื่อเครื่องจักรทำงานที่สภาวะคงตัว ก่อนที่จะสูญเสียเสถียรภาพซึ่งสามารถสมมติ ให้ $\omega_m = \omega_{sm}$ จะได้ดังสมการที่ (3.10)

$$W_{k} = \frac{1}{2} J \omega_{m}^{2} = \frac{1}{2} M \omega_{m}$$

$$M = \frac{2W_{k}}{\omega_{m}}$$
(3.10)

หรือ

และสามารถเขียนสมการการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในเทอมของค่ามุมกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Angle, δ) ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้ $\delta = \frac{\rho}{2} \delta_m$ และ $\omega = \frac{\rho}{2} \omega_m$

เมื่อ ho คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเขียนได้ดังสมการที่ (3.11)

$$\frac{2}{\rho}M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \tag{3.11}$$

สามารถเขียนสมการการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในรูป p.u. ได้เป็นสมการที่ (3.12)

$$\frac{2}{\rho} \frac{2Wk}{\omega_{sm}S_B} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{P_m}{S_B} - \frac{P_e}{S_B}$$
(3.12)

เมื่อ SB คือ ค่ากำลังไฟฟ้าฐานของระบบ ซึ่งในทางปฏิบัติ จะบอกค่าคงที่เป็นค่าคงที่ H นิยามว่า

$$H = \frac{\text{Kinetic Energy in MJ at Rated Speed}}{\text{Machine Rating in MVA}} = \frac{W_{K}}{W_{B}}$$

แทนก่า $\omega_{sm} = \frac{\rho}{2} \omega_m$ จะใด้ดังสมการที่ (3.13)

$$\frac{2}{\rho}\frac{2H}{\omega_{sm}}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_{m(pu)} - P_{e(pu)}$$
(3.13)

เมื่อ ω_s คือ Electrical Angular Velocity ซึ่งสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ω_s และความถี่ f_0 สามารถเขียนสมการการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้เป็นสมการที่ (3.14)

$$\frac{2H}{\pi f_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_{m(pu)} - P_{e(pu)m}$$
(3.14)

และวิเคราะห์มุม δ ในรูปขององศาทางไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.15)

$$\frac{H}{180f_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \tag{3.15}$$

3.4 แบบจำลองเครื่องจักรไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์เสลียรภาพ

ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง [8], [9] จะใช้แบบจำลองเครื่องจักรกลไฟฟ้า ที่ ประกอบด้วยแหล่งจ่าย E' กับค่า X_d'', X_d' และ X_d แล้วแต่สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ใน แบบจำลองละเลยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วยื่นดังแสดงได้ในรูปที่ 3.2 และการต่อเชื่อมเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากับสายส่งจะจำลองรูปแบบอย่างง่ายในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อต่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับบัสอนันต์แบบคลาสสิกดังแสดงได้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะต่างๆ



รูปที่ 3.3 การต่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับบัสอนันต์แบบคลาสสิก

บัส V เรียกว่า Infinite Bus โดยมี ขนาดแรงดัน และ ความถี่ คงที่ ซึ่งบัส V อาจเป็นบัส เชื่อมต่อภายนอกที่มีขนาดใหญ่ (Very Large System) และจากรูปที่3.2 สามารถวิเคราะห์วงจรแบบ Y ให้เป็นวงจรแบบ∆ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การแปลงวงจรไฟฟ้าแบบ Y ให้เป็นวงจรแบบ Δ

รูปที่ 3.4 สามารถเขียนสมการแปลงอิมพีแคนซ์ในวงจรไฟฟ้าแบบ Y ให้เป็นวงจรแบบ∆ใช้ วิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้ดังสมการ

$$y_{10} = \frac{Z_L}{jX'_d Z_s + jX'_d Z_L + Z_L Z_s}$$
$$y_{20} = \frac{jX'_d}{jX'_d Z_s + jX'_d Z_L + Z_L Z_s}$$
$$y_{12} = \frac{Z_s}{jX'_d Z_s + jX'_d Z_L + Z_L Z_s}$$

จากรูปที่ 3.4 หาสมการของกระแส I_1 และ I_2 ตามกฎของเคอร์ชอฟได้ดังสมการ

$$I_1 = (y_{10} + y_{12})E' - y_{12}V$$
$$I_2 = -y_{12}E' + (y_{20} + y_{12})V$$

เขียนสมการ โนคให้อยู่ในรูปเมตริกเป็น

$$\left[\frac{I_1}{I_2}\right] = \left[\frac{Y_{11}Y_{12}}{Y_{21}Y_{22}}\right] \left[\frac{E'}{V}\right]$$

และจากสมการในรูปแบบเมตริกหากำลังไฟฟ้าจริงที่โนด 1 ได้จากสมการ

$$P_e = \Re \left[E' I_1^* \right]$$

$$= \Re \left[\left(\left| E' \right| \angle \delta \left(\left| Y_{11} \right| \angle -\theta_{11} \right| E' \right| \angle -\delta + \left| Y_{12} \right| \angle -\theta_{12} \left| V \right| \angle 0 \right) \right]$$

้จากสมการที่โหนด 1 สมการการใหลของกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังสมการ

$$P_{e} = |E'|^{2} |Y_{11}| \cos \theta_{11} + |E'| |V| |Y_{12}| \cos \delta - \theta_{12}$$

และระบบไฟฟ้าลังส่วนใหญ่ ค่า Z_{L} และ Z_{S} จะพบว่า X >> R ในการวิเคราะห์ และคำนวณอย่างง่าย สามารถตัดค่าความด้านทานทิ้งได้ ซึ่งจะพบว่า $\theta_{11} = \theta_{12} = 90^{\circ}$ และ $Y_{12} = B_{12} = \frac{1}{X_{12}}$ และสามารถ นำสมการข้างต้นดังกล่าวมาพลีอตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (P_{e}) และมุมการ เปลี่ยนแปลงของโรเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (δ) ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ($P_{_{\!\!P}}$) และการเปลี่ยนแปลงของมุมโรเตอร์ (δ)

จากรูปที่ 3.5 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจะอยู่ภายใต้ความสมคุลระหว่าง Mechanical Torque และ Electrical Torque ถ้าเสถียรภาพของระบบเปลี่ยนแปลงไปจุคสมคุลจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยมี ผลทำให้อัตราเร่งของ Rotor Angle เพิ่มขึ้นหรือลคลงตามกฎของการเคลื่อนที่ (Motion Equation) ถ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งหมุนเร็วกว่าอีกเครื่องหนึ่งมุมของ Rotor เมื่อเทียบกับแกน Rotor ของ เครื่องกำเนิดนั้นจะมากกว่าเครื่องกำเนิดที่หมุนช้ากว่า [5] ความแตกต่างของมุมเป็นผลให้ภาระของ เครื่องกำเนิดที่ช้ากว่าจะย้ายไปยังเครื่องกำเนิดที่หมุนช้ากว่า [5] ความแตกต่างของมุมเป็นผลให้ภาระของ เครื่องกำเนิดที่ช้ากว่าจะย้ายไปยังเครื่องกำเนิดที่เร็วกว่าซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของกราฟ *P*-δ ซึ่งการ เพิ่มขึ้นของขนาคมุมที่แยกออกจากกันมากเท่าใดจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการถ่ายเท กำลังไฟฟ้าที่ลดลงตามความสัมพันธ์ระหว่าง *P*-δ และผลของมุมที่แยกออกมากยิ่งขึ้นจะทำให้ เสถียรภาพของระบบยิ่งลคลง และกำลังไฟฟ้าสูงสูดเมื่อมุมเป็น 90 องศาดังสมการที่ (3.16)

$$P_{Max} = \frac{\left|E'\right| \left|V\right|}{X_{12}} \tag{3.16}$$

จากสมการที่ (3.16) สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้จนถึงค่า P_{max} (Maximum Power Transferred) ซึ่งค่า P_{max} เป็นขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าของเสถียรภาพในสภาวะคงตัว (Steady State Stability Limit) และสามารถเขียนสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าได้เป็นสมการที่ (3.17)

$$P_{e} = \left| E' \right| \left| V \right| \left| B_{12} \right| \cos(\delta - 90^{\circ})$$
(3.17)

3.5 การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น

ทำการวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode โดยอาศัยหลักการของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Classical [8], [9] ซึ่งจะทำการตัดผลของความด้านทานภายในเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าออก เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าสามารถแสดงการต่อวงจร Equivalent ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับ Infinite Bus ได้ดังรูปที่ 3.6 และวงจรเทียบเคียงของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรเทียบเคียงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Classical

โดยที่ E' เป็นแรงคันที่อยู่หลัง Reactance Xd', X_d' เป็นความต้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, E_t เป็น แรงคันที่ปลายเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, E_B เป็นแรงคันที่ปลายของ Infinite Bus, δ เป็นมุมระหว่าง E' ที่ อยู่เหนือ E_B และกำหนดให้มุม E' เป็นมุมอ้างอิงจะได้ ความสัมพันธ์สมการต่อไปนี้

$$\mathscr{F} = \frac{E' < 0^0 - E_B < -\delta}{jX_T} = \frac{E' - E_B (Cos\delta - jSin\delta)}{jX_T}$$
(3.18)

กำลังไฟฟ้าหลัง \mathbf{X}'_{d} ได้ดังสมการที่ (3.19)

$$S' = P + jQ = E' I_t^*$$
(3.19)

และกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดได้ดังสมการที่ (3.20)

$$E' = E'_{t0} + jX'_{d}I^{*}_{t}$$
(3.20)

ซึ่งค่าอิมพีแคนซ์รวมของวงจรได้เป็นสมการที่ (3.21)

$$X_{T} = X_{d} + X_{E}$$
 (3.21)

ในขณะที่ Air-gap Power (P_e) จะเท่ากับ Power ที่ปลายของเครื่องกำเนิดและไม่คิดถึงความต้านทาน ที่ Stator Air-gap Torque (T_e) จะเท่ากับ Air-gap Power (P_e) ดังสมการที่ (3.22)

$$T_e = P = \frac{E' E_B Sin\delta}{X_t}$$
(3.22)

เมื่อพิจารณา ΔT_e รอบจุดที่ทำงาน (Operation Point) จะใด้ดังสมการที่ (3.23)

$$\Delta T_{e} = \frac{\partial T_{e}}{\partial \delta} \Delta \delta = \frac{E' E_{B} Cos\delta}{X_{i}} (\Delta \delta)$$
(3.23)

โดยที่มุม & เป็นมุมที่จุดทำงาน และจากสมการการเคลื่อนที่ (Motion Equation) ตาม Per-unit ได้ดัง สมการที่ (3.24)

$$p\Delta\omega_r = \frac{1}{2H}(T_m - T_e - T_D\Delta\omega_r)$$
(3.24)

หรือ p_{δ} หาได้ดังสมการที่ (3.25)

$$p_{\delta} = \omega_0 \Delta \omega_r \tag{3.25}$$

เมื่อพิจารณาสมการเคลื่อนที่แบบเชิงและแทนค่า ΔT_e ในสมการ (3.23) จะได้สมการที่ (3.26)

$$p\Delta\omega_r = \frac{1}{2H} [\Delta T_m - K_s \Delta \delta - K_D \Delta \omega_r]$$
(3.26)

โดยที่ K_s เป็น Synchronize Torque Coefficient หาได้ดังสมการที่ (3.27)

$$K_{s} = \left(\frac{E'E_{B}}{X_{t}}\right)C \ o \ s \ \delta_{0}$$
(3.27)

และจากความสัมพันธ์ของส่วนประกอบต่างๆ จะได้สมการที่ (3.28)

$$\Delta \delta = \frac{\omega_o}{s} \left[\frac{1}{2Hs} \left(-K_D \omega_r - K_s \Delta \delta + \Delta T_m \right) \right]$$
$$= \frac{\omega_o}{s} \left[\frac{1}{2Hs} \left(-K_D s \frac{\Delta \delta}{\omega_o} - K_s \Delta \delta + \Delta T_m \right) \right]$$
(3.28)

เมื่อ $\Delta T_m = 0$ จัดสมการใหม่จะได้สมการที่ (3.29)

$$S^{2} + \frac{K_{D}}{2H}S + \frac{K_{s}\omega_{o}}{2H}$$
(3.29)

เมื่อเทียบกับสมการ $S^2 = 2\zeta \omega_n S + \omega_n^2 = 0$ ได้รากของสมการคุณลักษณะดังสมการที่ (3.30)

$$S_{1,}S_{2} = -\zeta \omega_{n} \pm j \omega_{n} \sqrt{1 - \zeta^{2}}$$
(3.30)

ซึ่งค่า Underdamped Natural Frequency และ Damping Ratio ใด้ดังสมการที่ (3.31) และ (3.32)

$$\omega_n = \sqrt{K_s \frac{\omega_o}{2H}}$$
(3.31)

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{K_D}{\sqrt{2HK_S \omega_o}} \tag{3.32}$$

3.6 การวิเคราะห์ รูปแบบสถานะ (State Variable Form)

ในกรณีที่ระบบมีเครื่องจักรหลายตัว (Multi Machine) สามารถวิเคราะห์เสลียรภาพจาก รูปแบบตัวแปรสถานะ (State Variable Form) [8], [9] ซึ่งกำหนดให้ $X_1 = \Delta \delta$ และ $X_2 = \Delta \omega = \Delta \delta$ จะ ใด้ $X_1 = X_2$ และ $X_2 = \Delta \omega = \Delta \delta$ และ $X_2 = -\omega_n^2 X_1 - 2\zeta \omega_n X^2$ เขียนในรูปเมตริกซ์ดังสมการ ที่ (3.33)

$$\left[\frac{\dot{X}_{1}}{\dot{X}_{2}}\right] = \left[\frac{0}{-\omega_{n}^{2}}\frac{1}{-2\zeta\omega_{n}}\right]\left[\frac{X_{1}}{X_{2}}\right]$$
(3.33)

หรือ $\dot{X}(t) = AX(t)$ (3.34)

ซึ่งพบว่าเป็นสมการ Homogeneous State Equation (Unforce State Variable Equation) สามารถหา เวกเตอร์เอาต์พุด Y(t) ได้ ดังสมการที่ (3.34)

$$Y(t) = \left[\frac{1}{0} \frac{0}{1}\right] \left[\frac{X_1}{X_2}\right]$$
(3.34)

 $Y(t) = CX(t) \tag{3.35}$

หรือ

กำหนดให้ $A = \left[\frac{0}{-\omega_n^2} \frac{1}{-2\zeta\omega_n}\right]$

แปลงลาปลาซสมการที่ (3.35) จะได้สมการที่ (3.36)

$$Y(t) = CX(t) \tag{3.36}$$

เมื่อ sX(s) - X(0) = AX(s) จัดสมการการแปลงลาปลาซสมการที่ (3.36) จะได้เป็นสมการที่ (3.37)

 $sX = (sI - A)^{-1}X(0)$ (3.37)

เมื่อ

$$\mathfrak{vz}^{\mathsf{N}}\mathfrak{H}^{\mathsf{Y}} X(s) = \frac{\left[\frac{s+2\zeta\omega_n}{-\omega_n^2}\frac{1}{s}\right]X(0)}{s^2+2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$
(3.38)

 $(sI - A) = \left[\frac{0}{\omega_n^2} \frac{1}{s + 2\zeta\omega_n}\right]$

เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ Small Disturbance ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระบบของโรเตอร์ ถูกรบกวนเล็กน้อยด้วยมุมขนาดเล็กๆ สามารถหาค่า x (0) ได้เป็น $X_1 = \Delta \delta$ และ $X_2 = \Delta \omega = 0$ ซึ่งคำตอบในรูปสมการลาปลาซดังสมการที่ (3.39)

$$\Delta \,\delta\left(s\right) = \frac{\left(s + 2\,\zeta\,\omega_{n}\right)\Delta\,\delta_{0}}{s^{2} + 2\,\zeta\,\omega_{n}s + \omega^{2}{}_{n}} \tag{3.39}$$

ແລະ

$$\Delta\omega(s) = -\frac{\omega_n^2 \Delta \delta_0}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$
(3.40)

แก้สมการถาปถาซจะได้ผลตอบสนองเป็นดังสมการที่ (3.41) และ (3.42)

$$\Delta \delta = \frac{\mathrm{v} \,\delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin(\omega_{d+}\theta)} \tag{3.41}$$

ແລະ

$$\Delta \omega = -\frac{\omega_n \nabla \delta_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin \omega_d t}$$
(3.42)

เมื่อ $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ และ $\theta = \cos^{-1} \zeta$ สมการการเปลี่ยนแปลงของมุมกำลัง (Power Angle) ของโรเตอร์เนื่องจาก Small Disturbance เป็น

$$\delta = \delta_0 + \frac{v \,\delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin(\omega_{d+}\theta)}$$
(3.43)

สมการการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เนื่องจาก Small Disturbance เป็น

$$\omega = \omega_0 - \frac{\omega_n \nabla \delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin \omega_d t}$$
(3.44)

ค่า Response Time Constant ดังสมการที่ (3.45)

$$\tau = \frac{1}{\zeta \omega_n}$$
(3.45)

ผลตอบสนองที่เกิดขึ้น จะลู่เข้าสู่ก่ากงที่ ที่เวลาประมาณ

$$t_s \cong 4 \tau \tag{3.46}$$

3.7 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Model)

จากการประยุกต์ของสมการสวิงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถหาสมการการแกว่งของไฟฟ้า กำลังเกิดการเปลี่ยนแปลงของมุมโรเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งได้ดังสมการที่ (3.47)

$$\frac{2H}{\omega s}\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} = \Delta P_M - \Delta P_E \tag{3.47}$$

และมองในรูปแบบการแกว่งเล็กน้อยที่ความเร็วของโรเตอร์ได้ดังสมการที่ (3.48)

$$\frac{d\Delta \frac{\omega}{\omega s}}{dt} = \frac{1}{2H} \left(\Delta P_{M} - \Delta P_{E} \right)$$
(3.48)

จากสมการที่ (3.48) ความเร็วในรูปแบบของหนึ่งหน่วยได้เป็นสมการที่ (3.49)

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2H} \left(\Delta P_M - \Delta P_E \right) \tag{3.49}$$

ทำการแปลงลาปลาซสมการที่ (3.49) จะใค้สมการที่ (3.50)

$$\Delta\Omega(s) = \frac{1}{2Hs} \Big[\Delta P_M(s) - \Delta P_E(s) \Big]$$
(3.50)

จากกวามสัมพันธ์ในสมการที่ (3.50) สามารถแสดงในบล๊อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 บล็อกไคอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (3.50)

3.8 แบบจำลองโหลด (Load Model)

โหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง [9] จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายๆ ชนิด สำหรับโหลด จำพวกกวามด้านทานได้แก่โหลดแสงสว่าง, โหลดขดลวดกวามร้อนซึ่งกำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับกวามถิ่ ในระบบไฟฟ้ากำลัง โหลดจำพวกมอเตอร์ไฟฟ้าไวต่อการเปลี่ยนแปลงกวามถิ่ อย่างไรก็ความไวของ กวามถิ่ขึ้นอยู่กับกวามเร็วของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งกุณลักษะของโหลดกวามเร็วประมาณได้จากสมการที่ (3.51)

$$\Delta P_E = P_L + D\Delta\omega \tag{3.51}$$

เมื่อ ΔP_L คือโหลดไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความถี่, D∆*ω* โหลดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง ความถี่ ซึ่งก่า D ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความถี่ของโหลดยกตัวอย่างเช่นถ้าโหลด เปลี่ยนแปลง 1.6 เปอร์เซ็นต์สำหรับ 1 เปอร์เซ็นต์เปลี่ยนแปลงความถี่ซึ่งถ้าหาก D = 1.6 เป็นการ รวมกันของโหลดในบล็อกไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงผลรวมของระบบป้อนกลับได้ดัง รูปที่ 3.9 และบล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมรวมความสัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 ผลรวมของระบบป้อนกลับของบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 3.9

3.9 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของต้นกำลัง (Prime Mover Model)

ต้นกำลังทางด้านกล [9] ซึ่งรู้จักกันดีในรูปแบบของระบบควบคุมกำลังไฮดรอลิกของน้ำที่ตก กระทบกับกังหันไอน้ำซึ่งได้พลังงานมาจากการเผาไหม้ของถ่านหิน,จากก๊าซธรรมชาติ,พลังงาน นิวเคลียร์ และกังหันจากแรงดันของก๊าซ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงกำลังกล ด้านออก ΔP_m ที่เปลี่ยนใน ตำแหน่งของวาล์ว ΔP_c และความแตกต่างของรูปแบบกังหังไอน้ำแปรปรวนไปตามคุณลักษณะ ต่างๆ ตัวอย่างของลักษณะรูปแบบต้นกำลังทางกลสำหรับกังหันไอน้ำที่ไม่มีการนำกลับพลังงานไอน้ำ มาใช้ซึ่งสามารถประมาณได้จากเวลาคงที่ค่าหนึ่ง τ_T ซึ่งค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วงของเวลา 0.2 ถึง 2.0 วินาที และค่าผลที่ได้ตามฟังก์ชั่นแสดงในสมการที่ (3.51) สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดัง รูปที่ 3.11

$$G_T(s) = \frac{\Delta P_M(s)\delta}{\Delta P_V(s)} = \frac{1}{1 + \tau_T s}$$
(3.51)

รูปที่ 3.11 บล็อกใดอะแกรมของระบบตามสมการที่ (3.51)

3.10 แบบจำลองระบบควบคุมความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Governor Model)

เมื่อโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างทันทีจะ มีผลทำให้กำลังทางไฟฟ้ามากกว่าทาง กล กำลังที่ขาดแคลนถูกแทนด้วยพลังงานจลที่สะสมอยู่ที่ระบบส่วนหมุน การลดลงของพลังงานจล ดังกล่าวจากความเร็วของกังหันไอน้ำทำให้ความถิ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง การเปลี่ยนแปลง ดังกล่าวถูกตรวจจับได้จากตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะทำการปรับกำลังให้กังหัน ไอน้ำจากกำลังกลเพื่อยกระดับให้เกิดความเร็วรอบที่อยู่ในสภาวะคงตัวใหม่เกิดขึ้น ตัวควบคุม ความเร็วที่รวดเร็วนี้เรียกว่า "วัตต์โกฟเวอร์เนอร์" [9] ในการตรวจจับใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการ เปลี่ยนความเร็วในการดำเนินการที่เสถียรภาพ ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดซึ่งถูกออกแบบ และยอมให้ความเร็วรอบตกลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น คุณลักษณะในสภาวะคงตัวของตัวควบคุมความเร็ว รอบแสดงไว้ในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เส้นคุณลักษณะในสภาวะคงตัวของตัวควบคุมความเร็ว

จากรูปที่ 3.12 ความชันของกราฟแสดงให้เห็นถึงความเร็วตามกำหนด Regulation (R) แบบของตัว ควบคุมความเร็วตามกำหนดไว้ที่ 5-6 เปอร์เซ็นต์จากสูนย์จนเต็มโหลด ตัวควบคุมความเร็วทางกล แสดงโดยการเปรียบเทียบจากค่าที่ทำได้ในการเปลี่ยนแปลง ΔP_g จากความแตกต่างระหว่างกำลัง อ้างอิงที่ตั้งไว้ ΔP_{ref} และกำลัง $\frac{1}{R}\Delta \omega$ ถูกกำหนดให้ตัวควบคุมความเร็วตามลักษณะดังสมการที่ (3.52)

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta \omega \tag{3.52}$$

หรือมองในรูปโคเมนความถี่ได้ดังสมการที่ (3.53)

$$\Delta P_g(s) = \Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta \Omega(s)$$
(3.53)

การสั่งการของการเปลี่ยนแปลง ΔP_g ถูกแปลงมาจากระบบไฮครอลิก และส่งต่อไปที่ตำแหน่งวาล์ว ควบคุม ΔP_v ซึ่งสมมุติให้เป็นความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น และหากพิจารณาเวลาคงที่ τ_τ จะมี ความสัมพันธ์ในโคเมนความถี่ดังสมการที่ (3.54) สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของ ผลตอบสนองตัวควบคุมของระบบสำหรับกังหันไอน้ำได้ดังรูปที่ (3.13) และบล็อกไดอะแกรมของ ผลตอบสนองตัวควบคุมโหลดความถี่แยกของระบบไฟฟ้ากำลังได้ดังรูปที่ (3.14)

$$\Delta P_V(s) = \frac{1}{1 + \tau_g} \Delta P_V(s) \tag{3.54}$$



รูปที่ 3.13 ผลตอบสนองของความเร็วตัวควบคุมของระบบสำหรับกังหันไอน้ำ



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของผลตอบสนองตัวควบคุมโหลดความถี่แยกของระบบไฟฟ้ากำลัง

เมื่อทำการเปลี่ยน –ΔP_L(s) โดยการเพิ่มค่า และความถี่เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ΔΩ(s) ของค่าที่ ได้ และผลที่ได้แสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.14 และสามารถเขียนฟังก์ชันเปิดของสมการได้ ดังสมการที่ (3.55)

$$KG(s)H(s) = \frac{1}{R} \frac{1}{(2H_s + D)(1 + \tau_s s)(1 + \tau_s s)}$$
(3.55)

และสามารถเขียนฟังก์ชั่นปิดของความสัมพันธ์โหลดที่เปลี่ยนแปลง ΔP_L และการเปลี่ยนแปลงการ แกว่งของกำลังไฟฟ้า ΔΩ ได้เป็นสมการที่ (3.56)

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{-\Delta P_L(s)} = \frac{(1+\tau_g s)(1+\tau_T s)}{(2H_s + D)(1+\tau_g s)(1+\tau_T s) + 1/R}$$
(3.56)

หรือ

$$\Delta\Omega(s) = -\Delta P_L(s)T(s) \tag{3.57}$$

โหลดเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันไดการเปลี่ยนแปลง $\Delta P_L(s) = \Delta P_L/s$ การหาค่าสุดท้ายตามทฤษฎีใน สภาวะคงตัวของ $\Delta \omega$ ได้ดังสมการที่ (3.58)

$$\Delta \omega_{ss} = \lim_{s \to 0} s \Delta \Omega(s) = \left(-\Delta P_L\right) \frac{1}{D + 1/R}$$
(3.58)

สำหรับกรณีที่ไม่มีความถี่ของโหลดมาเกี่ยวข้องเช่น D=0 การแกว่งของความถี่ในสภาวะคงตัวหาได้ งากตัวควบคุมความเร็วดังสมการที่ (3.59)

$$\Delta \omega_{SS} = \left(-\Delta P_L\right) R \tag{3.59}$$

หากมีหลายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมตัวควบคุมความเร็วหลายชุดต่อในระบบการแกว่งของความถี่ใน สภาวะคงตัวหาได้จากสมการที่ (3.60)

$$\Delta \omega_{ss} = \left(-\Delta P_L\right) \frac{1}{D + 1/R_1 + 1/R_2 + \dots 1/R_n}$$
(3.60)

3.11 ระบบควบคุมอัตโนมัติเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Automatic Generation Control)

ถ้าโหลดในระบบเพิ่มขึ้นความเร็วของกังหันไอน้ำจะตกลงก่อนที่ส่วนควบคุมโกฟเวอร์เนอร์ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะปรับเพิ่มค่าของพลังไอน้ำสำหรับโหลดใหม่ ซึ่งก่อนที่จะมีการค่าความเร็ว ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเกิดสัญญาณผิดเพี้ยนในรูปของความถี่เข้าไปในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การควบคุมเพื่อชดเชยความถี่ที่ผิดพลาดจากความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นใน ขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์ควบคุมและสั่งการอัตโนมัติเพื่อให้สามารถปรับ พร้อมชดเชยความถี่ที่ผิดเพี้ยนไปจึงมีความจำเป็นซึ่งรู้จักในรูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า (Automatic Generation Control, AGC) [9]

3.12 ระบบควบคุมอัตโนมัติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพื้นที่เดี่ยว (AGC In Single Area System)

ในการควบคุมความถี่เบื้องค้น การเปลี่ยนแปลงของโหลดที่เกิดขึ้นในสภาวะคงตัวเกิดขึ้นบน ตัวควบคุมความเร็ว (Governor) เพื่อให้การลดการแกว่งในรูปแบบความถี่ให้เป็นศูนย์ จะมีการปรับตั้ง ตั้งผลการแกว่งที่เกิดขึ้นในตัวควบคุมอัตโนมัติโดยอ้างอิงจากโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่ตั้งไว้ซึ่ง การควบคุมความถี่สามารถออกแบบได้ในรูปของระบบควบคุมดังรูปที่ 3.15 และจากรูปที่ 3.15 สามารถขุบรูประบบควบคุมได้ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งค่าเกณฑ์ K₁ ซึ่งปรับตามความเหมาะสมของสิ่งรบกวน ที่เกิดขึ้น และผลตอบสนองต่อระบบสามารถหาได้จากสมการที่ (3.61)

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{-\Delta P_L(s)} = \frac{s(1+\tau_g s)(1+\tau_T s)}{s(2H+D)(1+\tau_g s)(1+\tau_T s) + K_1 + s/R} \quad (3.61)$$



รูปที่ 3.15 ระบบควบคุมความถึ่งองโหลดระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่เดี่ยว



รูปที่ 3.16 ผลตอบสนองต่อระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่เดี่ยว

3.13 ระบบควบคุมอัตโนมัติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายพื้นที่ (AGC In Multi Area

System)

ในหลายกรณีกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ใกล้ชิดกันมากการเกิดการแกว่งสอดประสานกัน นอกจากนี้กังหันไอน้ำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะตอบสนองในลักษณะต่างๆกัน ยกตัวอย่างเช่นในกลุ่ม ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกันซึ่งระบบควบกุมความถี่จะต้องตอบสนองกันทั้งหมดในระบบ ไฟฟ้ากำลังการศึกษาและทำความเข้าใจอันดับแรกจะเริ่มต้นด้วยการควบคุมความถี่ในสองพื้นที่ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องต่อเชื่อมถึงกันโดยคิดค่าความด้านทานของสายส่งระหว่างเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าน้อยมากตามวงจรดังภาพที่ 3.17 ซึ่งกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดที่ต่อเชื่อมกันระหว่างพื้นที่ หาได้จากสมการที่ (3.62) ซึ่งเป็นสมการเส้นตรง

$$\Delta P_{12} = \frac{|E_1||E_2|}{X_{12}} \sin \delta_{12}$$
(3.62)

โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างพื้นที่ $(X_{12}) = X_1 + X_2$ และ ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง $(\delta_{12}) = \delta_1 + \delta_2$ และสมการแกว่งเล็กน้อยระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไหลจาก ΔP_{12} หาได้จากสมการที่ (3.63)



และค่าของ P, คือปริมาณของความชั่นโดยเริ่มต้นที่มุม $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ ซึ่งหาได้จากสัมประสิทธิ์ กำลังไฟฟ้าจากสมการที่ (3.62) ซึ่งจะได้ค่า P, ดังสมการที่ (3. 64)

$$\Delta P_{S} = \frac{dP_{12}}{d\delta_{12}}\Big|_{\delta 12_{0}} = \frac{|E_{1}||E_{2}|}{X_{12}}\cos\Delta\delta_{12_{0}}$$
(3.64)

และกำลังไฟฟ้าที่เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่สามารถหาได้จากสมการที่ (3.65)

$$\Delta P_{12} = P_s \left(\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2 \right) \tag{3.65}$$

การแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ทั้งสองเกิดขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มหรือลดลงในพื้นที่นั้นๆ และทิศ ทางการไหลของกำลังไฟฟ้าบ่งบอกโดยความแตกต่างระหว่างมุมเฟส ซึ่งถ้า Δδ₁ > Δδ₂ กำลังไฟฟ้า ใหลจากพื้นที่ 1 ไปยังพื้นที่ 2 การเปลี่ยนแปลงเป็นไปดังสมการที่ (3.66) และ (3.67) เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเล็กน้อยเกิดขึ้นที่ ∆P_{L1} พื้นที่ 1 ในสภาวะคงตัวเสมือนการแกว่งของความถี่ใน สภาวะคงตัว

$$\Delta \omega = \Delta \omega_1 = \Delta \omega_2 \tag{3.66}$$

ແລະ

$$\Delta P_{m1} - \Delta P_{12} - \Delta P_{L1}\omega = \Delta \omega D_1$$

$$\Delta P_{m2} + \Delta P_{12} = \Delta \omega D_2 \qquad (3.67)$$

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกำลังทางกลหาได้จากคุณลักษณะของตัวควบคุมความเร็วในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังไอน้ำซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.68)

$$\Delta P_{m1} = \frac{-\Delta \omega}{R_1}$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{-\Delta \omega}{R_2}$$
(3.68)

แทนสมการที่ (3.68) ในสมการที่ (3.67) จะหา $\Delta \omega$ ได้จากสมการที่ (3.69)

$$\Delta \omega = \frac{-\Delta P_{LI}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$
$$= \frac{-\Delta P_{LI}}{B_1 + B_2}$$
(3.69)

ค่าของ B_1, B_2 หาได้จากสมการที่ (3.70)

$$B_{1} = \frac{1}{R_{1}} + D_{1}$$

$$B_{2} = \frac{1}{R_{2}} + D_{2}$$
(3.70)

ซึ่งค่า B_1, B_2 ค่าแฟคเตอร์ฐานของความถี่ และกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่หาได้จากสมการที่ (3.71)

$$\Delta P_{12} = \frac{\left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$
(3.71)

3.14 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power and Voltage

Control)

ในระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยสิ่งที่สำคัญได้แก่แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการ ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ การสั่งการของชุดขดลวดกระดุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากสลิปลิง และแปลงถ่านในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกระแสตรงอย่างไรก็ตามรูปแบบ ชุดกระตุ้นสมัยใหม่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับใช้การปรับแต่งส่วนที่หมุนซึ่งรู้จักกันในชื่อของ การกระดุ้นโดยไม่ต้องอาศัยแปลงถ่าน และการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงมีผลกระทบสำคัญต่อ ความถี่ และการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีสำคัญของขนาดแรงดันซึ่งผลการควบคุม ระหว่างแรงดัน และความถี่ซึ่งการวิเคราะห์แยกส่วนจากระบบการผลิต โดยแยกแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟได้แก่คาปาซิเตอร์และรีแอกเตอร์ ซึ่งการกวบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังรีแอกดีฟถูกควบคุม โดยการกระคุ้นของขดลวด และมีวิธีหลายหลากวิธีที่จะปรับปรุงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบส่ง กำลังไฟฟ้าซึ่งได้แก่หม้อแปลงปรับระดับตามขนาดของโหลด, สวิตชิ่งคาปาซิเตอร์, การปรับระดับ ของแรงดันควบคุม และอุปกรณ์กวบคุมสแตติกวาร์ และในชั้นแรกหมายถึงการควบคุมเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ารีแอกทีฟในส่วนของการควบคุมระบบการกระตุ้นซึ่งใช้การควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) ซึ่งตัวควบคุมดีงกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ระบบการควบคุมแรงคันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR)

3.14.1 แบบจำลองการขยายสัญญาณ (Amplifier Model)

ระบบกระตุ้นขยายสัญญาณอาจได้มาจากตัวขยายสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า, การขยาย สัญญาณส่วนที่เคลื่อนที่, หรือรูปแบบการขยายสัญญาณของระบบอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณการ ขยายอยู่ในรูปแบบของค่าเกณฑ์ (K_A) และในรูปของเวลาคงที่ (*τ_A*) ซึ่งรูปแบบของค่าเกณฑ์อยู่ในช่วง 10 ถึง 400 และเวลาในการขยายสัญญาณน้อยมากอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.1 วินาที สามารถเขียนใน รูปแบบฟังก์ชั้นถ่ายโอนได้ดังสมการที่ (3.72)

$$\frac{V_R(s)}{V_e(s)} = \frac{K_A}{1 + \tau_A s}$$
(3.72)

3.14.2 แบบจำลองการกระตุ้น (Exciter Model)

รูปแบบชุดกระตุ้นมีหลายแบบรุ่นที่พัฒนาแล้วจะใช้อุปกรณ์อิเล็กโทรนิคจำพวกโซ ลิตสเตทได้แก่ SCR ซึ่งแรงคันด้านออกของชุดกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นแรงสนามแม่เหล็กใน วงจรแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไรก็ตามยังไม่มีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงคันที่ขั้วและแรงคันขดลวด กระตุ้นที่แน่นอนซึ่งรูปแบบการกระตุ้นมีหลายรูปแบบโดยยึดเอามาตรฐาน IEEE มาใช้อ้างอิงในการ จำลองรูปแบบการกระตุ้นแบบเชิงเส้น และผลการจำลองรูปแบบคังกล่าวแสดงได้ในฟังก์ชั่นถ่ายโอน ดังสมการที่ (3.73)

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_E}{1 + \tau_E s}$$
(3.73)

ซึ่ง $au_{_E}$ ผลตอบสนองของเวลาน้อยๆ และ $K_{_E}$ คือก่าเกณฑ์ของระบบ

3.14.3 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Model)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสผลิตแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าตามกราฟ คุณลักษณะของแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงคันที่ขั้วจะขึ้นอยู่กับโหลดของเครื่องกำเนิดในรูปแบบเชิงเส้น ซึ่งผลตอบสนองแสดงได้ในฟังก์ชั่นถ่ายโอนดังสมการที่ (3.74)

$$\frac{V_t(s)}{V_F(s)} = \frac{K_G}{1 + \tau_G s}$$
(3.74)

ซึ่งค่า K_G เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 1 และ au_G อยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 วินาที

3.14.4 แบบจำลองตัวรับรู้ได้ (Sensor Model)

แรงคันที่ได้จากเกรื่องกำเนิดถูกตรวจจับได้จากหม้อแปลงแรงคันซึ่งรูปแบบการ จำลองแสดงได้คังฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันคับที่ 1 คังแสดงในสมการที่ (3.75)

$$\frac{V_s(s)}{V_t(s)} = \frac{K_R}{1 + \tau_R s}$$
(3.75)

ซึ่ง au_R มีขนาคเล็กมากๆ และสมมุติให้ค่าอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.06 วินาที และผลของระบบควบคุม ของ AVR แสคงได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ผลของระบบควบคุมบล็อกไคอะแกรมของ AVR

และผลตอบสนองของระบบเปิดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนในรูปที่ 3.19 แสดงสมการที่ (3.76)

$$KG(s)H(s) = \frac{K_A K_E K_G K_R}{(1 + \tau_A s)(1 + \tau_E s)(1 + \tau_G s)(1 + \tau_R s)}$$
(3.76)

และผลตอบสนองของระบบปิดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนความสัมพันธ์ของแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า V_i(s) และแรงคันอ้างอิง V_{ret}(s) ได้ดังสมการที่ (3.77)

$$\frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K_A K_E K_G K_R (1 + \tau_R s)}{(1 + \tau_A s)(1 + \tau_E s)(1 + \tau_G s)(1 + \tau_R s) + K_A K_E K_G K_R}$$
(3.77)

หรือ

$$V_t(s) = T(s)V_{ref}(s)$$
(3.78)

สำหรับการป้อนเข้าแบบขั้นบันไดจะได้ $V_{ref}(s) = V_t(s) = \frac{1}{s}$ ค่าผลตอบสนองในสภาวะคงตัวจะได้ เป็นสมการที่ (3.79)

$$V_{tss}(s) = \lim_{s \to 0} sV_t(s) = \frac{K_A}{1 + K_A}$$
(3.79)

3.14.5 ระบบกระตุ้นด้วยการป้อนกลับด้วยความเสถียรภาพ (Excitation System

Stabilizer-Rate Feedback)

เพื่อให้ระบบป้อนกลับของระบบควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) มีเสถียรภาพลดความผิดพลาดมากยิ่งขึ้นโดยทำการเพิ่มซีโร่ในระบบป้อนกลับใน ลูปเปิดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนชุดควบคุม Stabilizer ดังบล็อกไดอะแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ระบบป้อนกลับเปิดของฟังก์ชั่นของ AVR และ Stabilizer

3.14.6 ระบบกระตุ้นด้วยการป้อนกลับด้วยความเสถียรภาพและชุดควบคุม PID (Excitation System Stabilizer - PID Controller)

ระบบป้อนกลับของชุดควบคุมหลังการใส่ตัว Stabilizer เพื่อทำให้ระบบมีความ เสถียรภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว หากระบบเพิ่มชุดควบคุม PID จะทำให้ระบบควบคุมสามารถขจัดความ ผิดพลาดทางไดนามิกได้ดี และลดหรือกำจัดการผิดพลาดในสภาวะกงตัวได้เป็นอย่างดี ซึ่งการพัฒนา เริ่มด้วยการเพิ่มขอบเขตของซีโร่ในระบบเปิดของฟังก์ชั่นป้อนกลับ และสามารถปรับปรุง ผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่ของฟังก์ชั่นป้อนกลับที่เพิ่มชุดควบคุม PID สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.79)

$$G_{C}(s) = K_{p} + \frac{K_{1}}{s} + K_{D}s$$
(3.79)

บล็อกไคอะแกรมของชุคควบคุม AVR พร้อมด้วย PID สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมระบบป้อนกลับของฟังก์ชั่นของ AVR และ PID

3.14.7 ระบบควบคุมอัตโนมัติที่รวมเอาระบบกระตุ้นไว้ด้วยกัน (AGC Including Excitation System)

ตั้งแต่มีจุดอ่อนเกิดขึ้นระหว่างการควบคุมความถี่ และการควบคุมแรงดันไฟฟ้าใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความถี่ และแรงดันไฟฟ้าถูกควบคุมโดยแยกออกจากกัน ในการศึกษาเชิงเส้นของ ระบบควบคุมซึ่งผนวกรวมกับระบบควบคุมการกระตุ้นซึ่งจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของ กำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และสัมประสิทธิ์ของ กำลังไฟฟ้า (P_s) การเปลี่ยนแปลงของมุมของโรเตอร์ (Δδ) ถ้านับรวมผลของแรงดันเล็กน้อยที่ เกิดขึ้นของกำลังไฟฟ้าจริง สามารถแสดงเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ (3.80)

$$\Delta P_e = P_s \Delta \delta + K_2 E' \tag{3.80}$$

เมื่อ K₂ คือการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าสำหรับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในแรงเคลื่อนไฟฟ้า แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งรวมถึงผลการเปลี่ยนแปลงของมุมโรเตอร์บนแรงคันของเครื่องกำเนิคไฟฟ้า สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.81)

$$\Delta V_t = K_5 \Delta \delta + K_6 E^{\prime} \tag{3.81}$$

เมื่อ K₅ คือการเปลี่ยนแปลงของแรงคันขั้วสำหรับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในโรเตอร์ที่แรงคัน แม่เหล็กไฟฟ้าคงที่ของสเตเตอร์ และ K₆ คือการเปลี่ยนแปลงแรงคันขั้วสำหรับการเปลี่ยนแปลงใน ขคลวคที่สเตเตอร์ที่มุมโรเตอร์คงที่ ซึ่งสามารถพิจารณาเป็นฟังก์ชั่นป้อนกลับหาแรงคัน แม่เหล็กไฟฟ้าที่สเตเตอร์คังสมการที่ (3.82)

$$E' = \frac{K_G}{1 + \tau_G} (V_f - K_4 \Delta \delta)$$
(3.82)

ค่าคงที่ต่างๆ กำหนดขึ้นจากค่าพารามิเตอร์ภายใต้เงื่อนไขของระบบและสำหรับเสถียรภาพของระบบ จะกำหนดให้ก่า P_s เป็นบวกพร้อมกับ ก่า K₂ , K₄และ K₆ แต่ก่า K₅ อาจเป็นลบก็ได้

การออกแบบและทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า

ในบทนี้จะทำการทดสอบการการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดยจำลองรูปแบบการต่อเชื่อมเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าเข้ากับบัสอนันต์ตามทฤษฎี และค่าพารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงกับระบบการผลิตของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode ซึ่งได้นำเอาค่าพารามิเตอร์ ที่เกี่ยวข้อง และสมการต่างๆ มาพล็อตลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK โดยทำ การทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของจริงในระบบสายส่งกำลังที่ ระดับแรงดัน 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขณะต่อเชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบการ ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ซึ่งสมมุติให้ระบบกำลังไฟฟ้าจ่ายกลับอย่างรวดเร็ว โดยทำการปลดและสับ เบรกเกอร์ที่ควบกุมสายส่งของบัสที่สถานีไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และเบรกเกอร์ควบกุมสายส่ง ของบัสแรงสูงระบบ 115 เควี ที่สถานีไฟฟ้าระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

4.1 การทดสอบการแกว่งของกำลังใฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode

วิทยานิพนธ์นี้ทำการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยทำการทดสอบจำนวน 5 กรณี

 กรณีที่ 1 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่ บัสอนันต์

2. กรณีที่ 2 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิด และปิคกลับเบรกเกอร์อย่างรวคเร็วที่ บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. กรณีที่ 3 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่ บัสบางปะอิน 2

4. กรณีที่ 4 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิค และปิคกลับเบรกเกอร์อย่างรวคเร็วที่ บัสเครื่องกำเนิคไฟฟ้าโรจนะ

5. กรณีที่ 5 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโคยเพิ่มขนาคความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.1 การออกแบบและทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 1

ในระบบสายส่งไฟฟ้าเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำต่อเข้ากับบัสอนันต์โดยทำ การเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสอนันต์กำหนดก่าพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้ $E' = 1.35 \angle 16.79^{\circ}, \quad E_B = 1 \angle 0^{\circ}, \quad P = 0.6 p.u., \quad f = 60$ เฮิรตซ์, 0.8 Lagging และ H = 9.94 MJ/MVA



รูปที่ 4.1 ใคอะแกรมเส้นเคี่ยวทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า เมื่อเปิดและปิคกลับเบรกเกอร์อย่างรวคเร็วที่บัสอนันต์

จากรูปที่ 4.1 ค่า E' ได้มาจากการคำนวณ , $E_{\rm B}$ เป็นแรงคันไฟฟ้าของบัสอนันต์, P เป็น กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดในหน่วยเปอร์ยูนิต, กำหนดให้ความถึ่ของระบบ 60 เฮิรตซ์, มุม ประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8 ล้าหลัง และ H = 9.94 MJ/MVA เป็นก่าความเฉื่อยคงที่ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า เมื่อทำการเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสอนันต์ ซึ่งการทดสอบไม่ได้นำค่าความ ด้านทานของสายส่งมาคิดพบว่าเกิดแกว่งแบบหน่วงและสวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 0.9549 เฮิรตซ์ ก่อน เข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำใช้เวลาประมาณ 3.0572 วินาที ($t_s = 4\tau$) เมื่อ ($\tau = 0.7643$) นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดในกรณีที่ 1 มาพลีอตลงใน โปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงได้ดัง M-File 3.1 กรณีที่ 1 ในภาคผนวก ค จะเห็นได้ว่า ก่ากวามถึ่ของการแกว่งกำลังไฟฟ้า และมุมองศาที่แยกออกใช้เวลาประมาณ 3 วินาทีก่อนเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าจะเข้าสู่กวามเร็วซิงโครนัสแสดงได้ในตารางที่ 4.1 และรูปกราฟการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแสดง ได้ในรูปที่ 4.5

4.1.2 การออกแบบและทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 2

ในระบบสายส่งไฟฟ้าเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำต่อเข้ากับบัสอนันต์โดยทำ การเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำหนดค่าพารามิเตอร์ในการ ทดสอบดังนี้

 $E' = 1.269 \angle 11.63^{\circ}, \quad E_B = 1 \angle 0^{\circ}, \quad P = 0.6 \, p.u., \quad f = 60$ เฮิรตซ์ , 0.8 Lagging และ $H = 9.94 \, \mathrm{MJ/MVA}$



รูปที่ 4.2 ใดอะแกรมเส้นเดี่ยวทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.2 ค่า E' ได้มาจากการคำนวณ , E_{μ} เป็นแรงดันไฟฟ้าของบัสอนันต์, P เป็น กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต, ความถี่ของระบบ 60 เฮิรตซ์, มุมประกอบ กำลังไฟฟ้า 0.8 ล้าหลัง และ H = 9.94 MJ/MVA เป็นค่าความเฉื่อยคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จาก ค่าที่ได้ในตารางที่ 4.2 เมื่อทำการเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการ ทดสอบไม่ได้นำค่าความด้านทานของสายส่งมาคิดพบว่าเกิดแกว่งแบบหน่วงและสวิงที่ความถี่ต่ำ ประมาณ 0.9894 เฮิรตซ์ ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการ น้ำใช้เวลาประมาณ 3.67 วินาที ($t_s = 4\tau$) เมื่อ ($\tau = 0.9171$) นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน กรณีที่ 2 มาพล็อตในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงได้ดัง M-File 3.2 กรณีที่ 2 ใน ภาคผนวก ค จะเห็นว่าค่าความถึ่ของการแกว่งกำลังไฟฟ้า และมุมองศาที่แยกออกซึ่งใช้เวลาประมาณ 3.67 วินาที่ก่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ความเร็วซิงโครนัสดังค่าในตารางที่ 4.2 และกราฟการแกว่ง ของกำลังไฟฟ้าแสดงได้ในรูปที่ 4.6

4.1.3 การออกแบบและทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 3

ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อเครื่องกำเนิคไฟฟ้าของบริษัทผลิตไฟฟ้า เอกชนโรจนะเพาเวอร์กับระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแสดงการต่อระบบดังรูปที่ 4.3 โดยทำการเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ซึ่งกำหนดให้ ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้

 $E' = 1.3177 \angle 11.06^{\circ}, E_{B} = 1 \angle 0^{\circ}, P = 0.9 \text{ p.u}, f = 50 เฮิรตซ์, 0.85 \text{ Lagging}, H = 5 MJ/MVA, S_{base} = 100 เควีเอ, V_{base} = 115 เควี, Z_{base} = 132.25 \Omega$, Line type = 3 C, Line ANNo. = 115VDS400 และ R+jX = 0.000324658+0.002024197j p.u./circuit/km.





จากรูปที่ 4.3 ค่า E' ได้มาจากการคำนวณ , E_{p} เป็นแรงดันไฟฟ้าของบัสอนันต์, P เป็น กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดในหน่วยเปอร์ชูนิต, กำหนดให้ความถึ่ของระบบ 50 เฮิรตซ์, มุม ประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8 ล้าหลัง และ H = 5 MJ/MVA เป็นก่าความเถื่อยคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากค่าที่ได้ในตารางที่ 4.3 เมื่อทำการเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสอนันด์ ซึ่งการ ทดสอบนำค่าความด้านทานของสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดังแสดงใน ภาคผนวก ข มาคิดพบว่าเกิดแกว่งแบบหน่วง และสวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 1.6313 เฮิรตซ์ ก่อนเข้าสู่ เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำใช้เวลาประมาณ 1.84 วินาที ($t_s = 4\tau$) เมื่อ ($\tau = 0.4613$) และนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในกรณีที่ 3 มาพล็อตลงใน โปรแกรม MATLAB / SIMULINK แสดงได้ดัง M-File 3.1 กรณีที่ 3 ในภาคผนวก ด จะเห็นได้ว่า ค่าความถึ่ของการแกว่งกำลังไฟฟ้า และมุมองศาที่แยกออกใช้เวลาประมาณ 1.84 วินาทีก่อนเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ความเร็วซิงโครนัสแสดงค่าผลที่ได้ในตารางที่ 4.3 และกราฟการแกว่งของ กำถังไฟฟ้าแสดงได้ในรูปที่ 4.7

4.1.4 การออกแบบและทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 4

ทำการทดสอบการแกว่งกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของบริษัทผลิตไฟฟ้า เอกชนโรจนะเพาเวอร์กับระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดังรูปที่ 4.4 โดยทำการเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรจนะโดยกำหนดก่าพารามิเตอร์ในการ ทดสอบดังนี้

 $E' = 1.2925 \angle 10.59^{\circ}, E_{B} = 1 \angle 0^{\circ}, P = 0.9 \text{ p.u.}, f = 50 เฮิรตซ์, 0.85 \text{ Lagging}, H = 5 MJ/MVA, S_{base} = 100 เควีเอ, V_{base} = 115 เควี, Z_{base} = 132.25 \Omega$, Line type = 3 C, Line ANNo. = 115VDS400 และ R+jX = 0.000324658+0.002024197j p.u./circuit/km.



รูปที่ 4.4 ใดอะแกรมเส้นเดี่ยวทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรจนะ

จากรูปที่ 4.4 ค่า E' ได้มาจากการคำนวณ, E_B เป็นแรงคันไฟฟ้าของบัสอนันต์, P เป็น กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดในหน่วยเปอร์ยูนิต, กำหนดให้ความถี่ของระบบ 50 เฮิรตซ์, มุม ประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8 ล้ำหลัง และH = 5 MJ/MVA เป็นค่าความเฉื่อยคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากค่าที่ได้ในตารางที่ 4.4 เมื่อทำการเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า บริษัทโรจนะซึ่งการทดสอบไม่ได้นำค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำของสายส่งระบบ 115 เกวี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคคิดพบว่าเกิดแกว่งแบบหน่วงและสวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 1.6793 เฮิรตซ์ ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำใช้เวลาเท่ากัน ประมาณ 1.84 วินาที ($t_s = 4\tau$) เมื่อ ($\tau = 0.4613$) นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดในกรณีที่ 4 มา พล็อตลงในโปรแกรม MATLAB/SIMULINKแสดงได้ดัง M-File 3.1 กรณีที่ 4 ในภาคผนวก ค จะ เห็นได้ว่าความถิ่ของการแกว่งกำลังไฟฟ้า และมุมองศาที่แยกออกใช้เวลาประมาณ 1.84 วินาทีก่อน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ความเร็วซิงโครนัสซึ่งค่าที่ได้แสดงได้ดังตารางที่ 4.4 และกราฟการแกว่ง ของกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.1 ผลการทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและ ปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสอนันต์

รายการ	จำนวน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max Power Rate)	2.0769 p.u.
มุมเฟสเริ่มต้น (Initial Angle)	0.2931 Radian
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส	1.9884
อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)	0.2131
ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	0.9549 Hz
ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	0.7643 Sec
ค่ามุมเฟส (Phase Angle)	1.3561 Radian

ตารางที่ 4.2 ผลการทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและ ปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รายการ	จำนวน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max Power Rate)	2.5912 p.u.
มุมเฟสเริ่มค้น (Initial Angle)	0.2337 Radian
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส	2.5208
อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)	0.1728
ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	0.9894 Hz
ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	0.9171
ค่ามุมเฟส (Phase Angle)	1.3972 Radian

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและ ปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสสถานีไฟฟ้าบางปะอิน2

รายการ	จำนวน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max Power Rate)	3.6077 p.u.
มุมเฟสเริ่มต้น (Initial Angle)	0.2521 Radian
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส	3.4937
อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)	0.2069
ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	1.6313 Hz
ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	0.4613 Sec
ค่ามุมเฟส (Phase Angle)	1.3624 Radian

ตารางที่ 4.4 ผลการทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและ ปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบริษัทโรจนะ

รายการ	จำนวน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max Power Rate)	3.8014 p.u.
มุมเฟสเริ่มต้น (Initial Angle)	0.2390 Radian
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส	3.6934
อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)	0.2012
ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	1.6793 Hz
ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	0.4613 Sec
ค่ามุมเฟส (Phase Angle)	1.3682 Radian



รูปที่ 4.5 การแกว่งกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์บัสอนันต์



รูปที่ 4.6 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อเปิดและปิดกลับเบรกเกอร์ที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรจนะ

4.1.5 การออกแบบและทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 5

ทำการทดสอบการแกว่งกำลังไฟฟ้าโดยเพิ่มค่าขนาดความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันไอน้ำ (Moment Inertia) เท่ากับ 5,9,12 และ 20 MJ/MVA นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาพล็อตลงใน โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ได้แสดงดัง M-File 3.1 กรณีที่ 5 ในภาคผนวก ค โดยเปลี่ยนแปลง ค่าความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำซึ่งจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ดังตารางที่4.5-4.8 และมุมองศาที่แยกออกก่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ความเร็วซิงโครนัสแสดงดังรูปที่ 4.9-4.12

ตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิคไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 5 MJ/MVA

H = 5	รายการ	จำนวน
	ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	1.613 Hz.
	ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	0.4613 Sec

ตารางที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 9 MJ/MVA

H = 9	รายการ	จำนวน
	ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	1.2279 Hz
	ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	0.8304 Sec

ตารางที่ 4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 12 MJ/MVA

H = 12	รายการ	ຈຳນວນ
	ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	1.0666 Hz
	ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	1.1072 Sec

ตารางที่ 4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ 20 MJ/MVA

H = 20	รายการ	จำนวน
	ความถี่การแกว่ง (Damp Oscillation Frequency)	0.8292 Hz
	ค่าคงที่เวลา (Time Constant)	1.8453 Sec



รูปที่ 4.9 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 5 MJ/MVA



รูปที่ 4.10 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 9 MJ/MVA



รูปที่ 4.11 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 12 MJ/MVA



รูปที่ 4.12 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ความใหญ่เท่ากับ 20 MJ/MVA



รูปที่ 4.13 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำรวมที่ 5, 9, 12 และ 20 MJ/MVA

4.2 สรุปผลการแกว่งของกำลังใฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode

ผลการทดสอบการแกว่งของระบบไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode ทดสอบโดยการต่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคลาสสิกเข้ากับบัสอนันต์โดยไม่นำค่าความด้ำนทานในสายส่งมาคิดหากเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสอนันต์จะพบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบหน่วงและสวิงที่ ความถี่ต่ำประมาณ 0.955 เฮิรตซ์ ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากังหันไอน้ำขนาดความใหญ่เท่ากับ 9.94 MJ/MVA ใช้เวลาประมาณ 3 วินาที และหากทำการ เปิดและปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ หน่วงและสวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 0.9894 เฮิรตซ์ ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็ว ซิงโครนัสใช้เวลาประมาณ 3.67 วินาที ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode และจากแบบทดสอบดังกล่าวนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบสายส่ง 115 เควี ของการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงผลิตไฟฟ้าเอกชนโรจนะเพาเวอร์
ขนาดความใหญ่เท่ากับ 5 MJ/MVA มาทำการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าหากเปิดและปิดกลับ เบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสสถานีบางปะอิน 2 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพบว่าเกิดการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าแบบหน่วงและสวิงที่ความถี่ต่ำผ่านสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประมาณ 1.63 เฮิรตซ์ ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ของการแกว่งแบบ Local Plant Mode ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพ ้ของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำใช้เวลาประมาณ 1.85 วินาที และหากเปิด และปีคกลับเบรกเกอร์ที่บัสอย่างรวคเร็วที่บัสของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าบริษัทผลิตไฟฟ้าเอกชนโรจนะ ้จะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบหน่วงและสวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 1.68 เฮิรตซ์ ซึ่งอยู่ในช่วง ้ความถี่การแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Local Plant Mode ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็ว ซิงโครนัสใช้เวลาประมาณประมาณ 1.85 วินาทีเท่ากัน ซึ่งถ้าหากพิจารณาค่าผลการทคสอบของ ้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำโดยการเพิ่มความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Moment Inertia) จะใด้ก่าผลการเปลี่ยนแปลงความถี่แสดงได้ในตารางที่ 4.5-4.8 และกราฟการแกว่งของ กำลังไฟฟ้า และมุมองศาที่แยกออกแสดงได้ดังรูปที่ 4.9-4.12 ซึ่งพบว่าเกิดการแกว่งของไฟฟ้ากำลังใน แบบ Local Plant Mode และถ้าหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะ พบว่าก่ากวามถี่การแกว่งของกำลังไฟฟ้าจะลูคลงเมื่อกวามใหญ่ของเกรื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ เวลาในการเข้าสู่จุคซิงโครนัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำจะเพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟการแกว่งของ กำลังไฟฟ้ารวมเมื่อเพิ่มค่าความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13

4.3 การทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Inter Area Mode

วิทยานิพนธ์นี้ทำการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Inter Area Mode โดยทำการ ทดสอบจำนวน 3 กรณี

1. กรณีที่ 1 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิคไฟฟ้า 2 เครื่องต่อเชื่อมกัน ด้วยสายส่งไฟฟ้าโคยไม่คิดค่าอิมพีแคนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า

2. กรณีที่ 2 ทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เข้ากับ เครื่องกำเนิคไฟฟ้าโคยกิดก่าอิมพีแคนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า และกำหนคให้ขนาดกวามใหญ่ของ เครื่องกำเนิคไฟฟ้าเท่ากันที่ 5 MJ/MVA

 กรณีที่ 2 ทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เข้ากับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยคิดค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้าและกำหนดให้ขนาดความใหญ่ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่เท่ากันที่ขนาด 5 MJ/MVA และ 4 MJ/MVA

4.3.1 การทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Inter Area Mode กรณีที่ 1

ทำการทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 2 เครื่อง เชื่อมต่อถึงกันด้วยสายส่ง ซึ่งในทคสอบจะไม่คิดผลของก่าอิมพีแดนซ์ในสายส่งระหว่างเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า ซึ่งการทคสอบการต่อเชื่อมแสดงในรูปที่ 4.14 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ทคสอบของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำดังตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข นำค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ มาพล็อตลงในโปรแกรมจำลองผล MATLAB/SIMULINK แสดงได้ดัง M-File 4.1 กรณีที่ 1ใน ภาคผนวก ค เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ 1 และพื้นที่ 2 ได้ค่าดังตารางที่ 4.8 และทำการพล็อตกราฟการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเพื่อดูการเปลี่ยนของความถี่และกำลังไฟฟ้าโดย กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า (P_s) เท่ากับ 2 p.u. นำดังกล่าวพร้อมค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข มาป้อนลงในแบบ SIMULINK แสดงได้ดังรูปที่ ค.1ในภาคผนวก ค แบบจำลอง การแกว่งกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 1 ซึ่งกราฟการเปลี่ยนแปลงความถี่แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 และกราฟ เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และค่าผลการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 1 แสดงได้ดังตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 1



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 1

รายการ	จำนวน
โหลดเปลี่ยนแปลง187.5 Mw. (<i>P_{L1}</i>)	0.1875 p.u. (187.5 Mw.)
การแกว่งความถี่เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัว ($\Delta arphi_{ss}$)	-0.005 p.u.
ค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัวเท่ากับ ($\Delta \! f$)	-0.3 Hz
ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงใหม่ (<i>f</i>)	59.7 Hz
กำลังกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่ 1 (ΔP_{m1})	-0.1 p.u. (100 Mw.)
กำลังกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่ 2 (ΔP_{m2})	-0.080 p.u. (80 Mw.)
กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไหลจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2 (ΔP_{12})	-0.0845 p.u. (84.5 Mw.)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิดระหว่างพื้นที่ กรณีที่ 1

สรุปการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Inter Area Mode กรณีที่ 1 จากค่าใน ตารางที่ 4.9 ผลที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 60 เฮิรตซ์ กำหนดให้ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าเริ่มต้น (P_s) เท่ากับ 2 p.u. โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นขนาด 187.5 เมกะวัตต์ (0.185 p.u.) พื้น 1 ความถี่ เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัว ($\Delta \omega_{ss}$) มีค่าเท่ากับ 0.3 เฮิรตซ์ (-0.005 p.u.) และความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่ ในสภาวะคงตัวเท่ากับ 59.7 เฮิรตซ์ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ 1 (ΔP_{m1}) เท่ากับ 100 เมกะ วัตต์ (0.1 p.u.) พื้นที่ 2 (ΔP_{m2}) เท่ากับ 80 เมกะวัตต์ (0.80 p.u.)

กำลังไฟฟ้าพื้นที่ 1 เป็น 100 เมกะวัตต์ และพื้นที่ 2 เป็น 80 เมกะวัตต์ ความถี่ที่เปลี่ยนแปลง ไปหรือความถี่ใหม่ที่เกิดขึ้นในสภาวะคงตัวเท่ากับ 59.7 เฮิรตซ์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปรวม ทั้งสิ้นเท่ากับ 180 เมกะวัตต์ จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าดังกล่าวน้อยกล่าวกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่ พื้นที่ 1 อยู่เท่ากับ 7.5 เมกะวัตต์ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดเนื่องจากการตกลงของความถึ่ เนื่องจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสามารถพิสูจน์ได้จากการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของ กำลังไฟฟ้าพื้นที่ 1 ซึ่งเท่ากับ 3 เมกะวัตต์ (-0.003 p.u.) ซึ่งได้จากค่า $\Delta \omega D_1$ และค่าการเปลี่ยนแปลง ของกำลังไฟฟ้าพื้นที่ 2 เท่ากับ 4.5 เมกะวัตต์ (-0.045 p.u.) ซึ่งได้จากค่า $\Delta \omega D_2$ ซึ่งค่าการ เปลี่ยนแปลงรวมทั้งหมดเท่ากับ 7.5 เมกะวัตต์ ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ 1 ไปยังพื้นที่ 2 เท่ากับ 84.5 เมกะวัตต์ (- 0.0845 p.u.) หาได้จากสมการที่ 3.65 และกำลังไฟฟ้า 84.5 Mw. ไหลจาก พื้นที่ 2 ไปยังพื้นที่ 1 ซึ่งกำลังไฟฟ้า 80 เมกะวัตต์ ได้มาจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พื้นที่ 2 และกำลังไฟฟ้า 4.5 เมกะวัตต์ ได้มาจากการลดลงในพื้นที่ 2 เนื่องจากการลดลงของความถิ่

4.3.2 การทดสอบการแกว่งของกำลังใฟฟ้าแบบ Inter Area Mode กรณีที่ 2

ทำการจำลองรูปแบบการแกว่งกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาคเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำสองเครื่องดังรูปที่ 4.17 ซึ่งกำหนดให้พารามิเตอร์ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำเท่ากันมีความใหญ่เท่ากับ 5 MJ/MVA ดังตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข และค่าพารามิเตอร์สายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดังตารางที่ ข.6 ในภาคผนวก ข และรูปแบบผังวงจรเดี่ยวการเชื่อมระบบสายส่งของ กฟภ. และระบบผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยแสดง ได้ดังรูปที่ 4.18







ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากรูปที่ 4.15 แสดงระบบจำหน่าขของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อเชื่อมต่อสายส่งแรงดัน 115 เควี กับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยขนาดความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำเท่ากัน ที่ 5 MJ/MVA สามารถเขียนเป็นผังวงจรเดี่ยวได้ดังรูปที่ 4.18 หาค่าเริ่มด้นของแรงดันเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 (G1) และแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 (G2) ได้จาก การกำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK แสดงได้ดัง M-File 4.1 และ 4.2 ใน ภาคผนวก ก จากหลักการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกลาสสิกต่อกับบัสอนันต์โดยกำหนดให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงโหลดในพื้นที่ 1 ขนาด 100 เมกะวัตต์ และ กำลังไฟฟ้าฐานในสายส่งเท่ากับ 400 เมกะ วัตต์ และนำค่าที่ได้มากำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า (P_s)โดยการพล็อตค่าในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงได้ดัง M-File 4.3 เมื่อกำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า (P_s) ได้แล้ว นำก่าดังกล่าวพร้อมพารามิเตอร์ในตารางที่ v.2 มาพล็อตลงในแบบ SIMULINK แสดงได้ดังรูปที่ ค.2 แบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 2 ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ดังตาราง ที่ 4.10 กราฟการเปลี่ยนแปลงก่าความถิ่แสดงได้ดังรูปที่ 4.19 และกราฟเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 4.20 ตามลำดับ

	2004004
5 1011 15	งานวน
โหลดเปลี่ยนแปลง 100 Mw. (P_{L1})	0.25 p.u.
การแกว่งความถี่เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัว ($\Delta arphi_{ss}$)	-0.0061 p.u.
ค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัวเท่ากับ ($\Delta \! f$)	-0.3034 Hz
ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงใหม่ (f)	49.6966 Hz
กำลังกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่ 1 (ΔP_{m1})	-0.12 p.u. (48 Mw.)
กำลังกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงพื้นที่ 2 (ΔP_{m2})	-0.12 p.u. (48 Mw.)
กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไหลจากพื้นที่ 1 ไปพื้นที่ 2 (ΔP_{12})	-0.125 p.u. (50Mw.)

ตารางที่ 4.10 ผลการทคสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิคระหว่างพื้นที่ กรณีที่ 2



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำกรณีที่ 2

สรุปการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Inter Area Mode กรณีที่ 3 จากค่าที่ได้ใน ตาราง ที่ 4.10 ผลที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ กำหนดให้ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าเริ่มต้น (*P*_s) เท่ากับ 2.4120 p.u. ซึ่งได้จากการกำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โหลดมีการ เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นขนาด 100 Mw. (0.25 p.u.) การแกว่งความถี่เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัว $(\Delta \omega_{ss})$ มีค่าเท่ากับ -0.3034 เฮิรตซ์ (-0.0061 p.u.) และความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่ในสภาวะคงตัวเท่ากับ 49.6966 เฮิรตซ์ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ 1 (ΔP_{m1}) เท่ากับ 48 เมกะวัตต์ (-0.12 p.u.) พื้นที่ 2 (ΔP_{m2}) เท่ากับ 48 เมกะวัตต์ (-0.12 p.u.) ซึ่งจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเท่ากัน ระหว่างพื้นที่ 1 และพื้นที่ 2 เท่ากันเนื่องจากค่าของความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากันที่ 5 MJ./MVA

กำลังไฟฟ้าพื้นที่ 1 เป็น 48 เมกะวัตต์ (0.12 p.u.) และพื้นที่ 2 เป็น 48 เมกะวัตต์ (-0.12 p.u) ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปหรือความถี่ใหม่ในสภาวะคงตัวเท่ากับ 49.6966 เฮิรตซ์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ เปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งสิ้นประมาณ 96 เมกะวัตต์ (0.24 p.u.) ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าดังกล่าวน้อย กล่าวกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่พื้นที่ 1 อยู่ประมาณ 4 เมกะวัตต์ (0.01 p.u.) ซึ่งเกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของโหลดในพื้นที่ 1 เนื่องจากการตกลงของความถี่เนื่องจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้า พิสูจน์ได้จากกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ 1 ไปยังพื้นที่ 2 เท่ากับ 50 เมกะวัตต์ (-0.125 p.u.) หา ได้จากสมการที่ 3.65 และกำลังไฟฟ้า 50 เมกะวัตต์ ใหลจากพื้นที่ 2 ไปยังพื้นที่ 1 และกำลังไฟฟ้า48 เมกะวัตต์ ได้มาจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพื้นที่ 2 และกำลังไฟฟ้า 2 เมกะวัตต์ ได้มาจากการลดลงในพื้นที่ 2 เนื่องจากการสดลงของความถี่เนื่องจากการเปลี่ยนของโหลดในพื้นที่ 1

4.3.3 การทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ Inter Area Mode กรณีที่ 3

ทำสอบการแกว่งกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบ เช่นเดียวกับกรณีที่ 2 ยกเว้นค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และ 2 มี ขนาดความใหญ่ต่างกันดังค่าในตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ขและนำค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้มาพล็อต ลงใน SIMULINK แสดงได้ดังรูปที่ ค.3 แบบจำลองการแกว่งกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 3.ได้ค่าการ เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ดังตารางที่ 4.11 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความถิ่แสดงได้ดังรูป ที่ 4.21 และกราฟเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 4.22 ตามลำดับ

จำนวน			
0.25 p.u. (100 Mw.)			
-0.0066 p.u.			
-0.3333 Hz			
49.66666 Hz			
-0.1333 p.u. (53.33 Mw.)			
-0.1067 p.u. (42.66 Mw.)			
-0.1127 p.u. (45.06 Mw.)			

ตารางที่ 4.11 ก่าผลการทคสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิดระหว่างพื้นที่ กรณีที่ 3



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ กรณีที่ 3

สรุปการทดสอบการแกว่งไฟฟ้ากำลังในแบบ Inter Area Mode กรณีที่ 3

จากก่าในตารางที่ 4.10 ผลที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โหลดมีการเปลี่ยนแปลง เกิดขึ้นขนาด 100 เมกะวัตต์ (0.125 p.u.) พื้นที่ 1 ความถี่เปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัว ($\Delta \omega_{ss}$) มีก่า เท่ากับ 0.3 เฮิรตซ์ (-0.0066 p.u.) และความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่ในสภาวะคงตัวเท่ากับ 49.6666 เฮิรตซ์ การ เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ 1 (ΔP_{m1}) เท่ากับ 53.33 เมกะวัตต์ (-0.1333 p.u.) พื้นที่ 2 (ΔP_{m2}) เท่ากับ 42.66 เมกะวัตต์ (-0.1067 p.u.)

กำลังไฟฟ้าพื้นที่ 1 เป็น 53.33 เมกะวัตต์ และพื้นที่ 2 เป็น 42.66 เมกะวัตต์ ความถี่ที่ เปลี่ยนแปลงไปหรือความถี่ใหม่ที่เกิดขึ้นในสภาวะคงตัวเท่ากับ 49.6666 เฮิรตซ์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ เปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งสิ้นประมาณ 96 เมกะวัตต์ จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าดังกล่าวน้อยกล่าว กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่พื้นที่ 1 อยู่เท่ากับ 4 เมกะวัตต์ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด เนื่องจากการตกลงของความถี่เนื่องจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าคำนวณหาค่าได้การเปลี่ยนแปลงของ กำลังไฟฟ้าพื้นในที่ 1 ซึ่งเท่ากับ 53.33 เมกะวัตต์ (-0.1333 p.u.) ซึ่งได้จากค่า ΔωD₁ และค่าการ เปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าพื้นที่ 2 เท่ากับ 42.66 เมกะวัตต์ (-0.1067 p.u.) ซึ่งได้จากค่า ΔωD₂ ซึ่งค่า การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพื้นที่ 2 เท่ากับ 42.66 เมกะวัตต์ (-0.1067 p.u.) ซึ่งได้จากค่า ΔωD₂ ซึ่งค่า การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพื้นที่ 2 และกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากพื้นที่1 ไปยังพื้นที่ 2 เท่ากับ 45.0667 เมกะวัตต์ หาได้จากสมการที่ 3.65 ซึ่งกำลังไฟฟ้า 53.33 เมกะวัตต์ ไหลจากพื้นที่ 2 ไปยัง พื้นที่ 1 และกำลังไฟฟ้า 42.66 เมกะวัตต์ ได้มาจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพื้นที่ 2 และกำลังไฟฟ้า 2.4 เมกะวัตต์ ได้มาจากการลดลงในพื้นที่ 2 เนื่องจากการลดลงของความถี่จากการ เปลี่ยนแปลงโหลดในพื้นที่ 1

4.4 การชดเชยความถี่ในแบบ Local Plant Mode โดยใช้ชุดควบคุม (Automatic

Voltage Regulator, AVR พร้อมชุดควบคุม PID)

ทำการชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าให้ครอบคลุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode กำหนดค่าพารามิเตอร์ของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 MJ/MVA ดังตารางที่ v.4 และค่าเกณฑ์ PID ดังตารางที่ v.5 ในภาคผนวก v กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟ้าซิงโครนัส (P_s) เท่ากับ 3.6934 ได้จากการทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อเชื่อมสายส่งของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบริษัทผลิตไฟฟ้าเอกชนโรจนะ,โหลดเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์, ค่า D เท่ากับ 0.8, ค่าสัมประสิทธิ์แรงคัน(K_6) เท่ากับ 0.5, K_2 เริ่มต้นเท่ากับ 0.2, K_4 เท่ากับ 1.4, K_s เท่ากับ – 0.1 และค่าเกณฑ์ LFC เท่ากับ 6

นำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้นมาพล็อตลงในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงได้ดัง รูปที่ ค.4 ชุดชดเชยความถี่ด้วยชุดควบคุม AVR พร้อมชุดควบคุม PID พร้อมทำการปรับค่าเกณฑ์ K₂ เริ่มต้นเท่ากับ 0.2 จนได้รูปแรงดันที่ครอบคลุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode



รูปที่ 4.24 แรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้ 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ $K_2^{}=0.2$





รูปที่ 4.28 แรงคันไฟฟ้าเกิน 1 p.u. เมื่อปรับค่าเกณฑ์ K_2 = 2.5

สรุปผลการจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดยให้เกิดการแกว่งของความถี่ใช้เวลาประมาณ 15 วินาที และสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส (*P_s*) เท่ากับ 3.6934 ทำการชดเชยความถี่ด้วยชุด ควบคุมอัตโนมัติพร้อมด้วยชุดควบคุม PID (Automatic Voltage Regulator, AVR with PID) ทำการ ปรับค่า K₂ ตั้งแต่ 0.2 ถึง 2.5 พบว่าค่า K₂ เท่ากับ 2 ในรูปที่ 4.27 แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 p.u. ครอบคลุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เวลาประมาณ 1.84 วินาที ในการแกว่งของกำลังไฟฟ้า เมื่อเชื่อมต่อสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโรจ นะเพาเวอร์ ในแบบ Local Plant Mode ซึ่งการยกระดับแรงดันไฟฟ้าในชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า อัตโนมัติพร้อมชุดควบคุม PID ช่วยทำให้ความถี่ที่เกิดจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากลับมาอยู่ใน สภาวะปกติตามค่าเกณฑ์ที่กำหนด

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 เกวี ของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคเมื่อต่อเชื่อมกับระบบผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย การศึกษาและวิจัยผลการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าโดยการการเปิด และปิดเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วในกรณีต่างๆ ซึ่งจะไม่ทำการศึกษา และ วิจัยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในขณะเกิดความผิดพร่องในระบบการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนราย ย่อย หรือการเกิดความผิดพร่องในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การศึกษาเน้นผลการวิจัย ในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียวเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode ซึ่งการทดสอบทำโดยการ จำลองรูปแบบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK ซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode เมื่อเชื่อมต่อ สายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

จากการศึกษาผลงานวิจัยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในแบบ Local Plant Mode ซึ่งเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่ง หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่องที่อยู่ใกล้กัน ตอบสนองโด้ตอบกับระบบซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 2 เฮิรตซ์ และ จากผลทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อเชื่อมสายส่งระบบ 115 เควี จำนวน 2 วงจร ของการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 กับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโรจนะพบว่าเกิด การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเมื่อทำการปลด และสับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า กวามถี่ต่ำผ่านสายส่ง ประมาณ 1.63 เฮิรตซ์ ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอ น้ำใช้เวลาประมาณ 1.85 วินาที และหากทำการเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสของ ระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยจะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าความถี่ต่ำประมาณ 1.68 เฮิรตซ์ ใช้ เวลาประมาณ 1.85 วินาที และหากทำการเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์อย่างรวดเร็วที่บัสของ สำหันไอน้ำ ซึ่งจากผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Damp Oscillation Frequency) จะเห็นได้ว่าเมื่อเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์ใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่การแกว่งของกำลังไฟฟ้า มากยิ่งขึ้น และผลของการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Damp Oscillation Frequency) จะน้อยลงเมื่อขนาด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้น และผลของเวลาในการเข้าสู่กวามเร็วซิงโครนัสก็จะยาวนาน ยิ่งขึ้นเมื่อความใหญ่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำมีขนาดใหญ่มากขึ้นตามลำดับ และจากการ เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอยู่ที่ บวก/ลบ 0.5 เฮิรตซ์ ของความถี่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 50 เฮิรตซ์ พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการ แกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode เกินกว่าค่ามาตรฐานความถี่ที่กำหนดไว้

5.1.2 ผลของการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Inter Area Mode เมื่อเชื่อมต่อสาย ส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

จากการศึกษาผลการวิจัยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิต [3] ในแบบ Inter Area Mode ซึ่งเป็นการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจากการโด้ตอบกันของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลุ่มหนึ่ง ้กับกลุ่มของเครื่องกำเนิดกลุ่มอื่นๆในระบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจะมีความซับซ้อนมากกว่าใน แบบ Local Plant Mode เนื่องจากผลของจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดของอุปกรณ์ควบคุม การ เชื่อมต่อถึงกัน ตลอดจนสภาวะในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งค่าความถิ่จะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 เฮิรตซ์ นั้นจากแบบทคสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีการวางผังการตัดจ่ายระบบสายส่งของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในอนาคต ซึ่งทำการเชื่อมต่อสายส่งระบบ 115 เควี กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสอง เครื่อง โดยการจำลองการเปิด และปิดกลับเบรกเกอร์ที่สถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ ้จำลองให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดสถานีไฟฟ้าการไฟฟ้าสวนภูมิภาค พื้นที่ 1 ในขณะเดียวกัน เพื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของการแกว่ง (Damp Oscillation Frequency) ที่เกิดขึ้น ระหว่างพื้นที่ ซึ่งผลการทคสอบเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Inter Area Mode ผ่านส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อกำหนดให้พื้นที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของโหลด 100 เมกะวัตต์ ้ขนาคของความถี่ถคลงเหลือประมาณ 49.6966 เฮิรตซ์ โดยกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาค เท่ากันที่ 5 MJ/MVA และเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดความถี่ที่ 49.6667 เฮิรตซ์ เมื่อกำหนดให้เครื่อง ้ กำเนิดไฟฟ้ามีขนาด 5 และ 4 MJ/MVA ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปมีขนาคประมาณ 0.3 เฮิรตซ์ และ จากการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอยู่ที่ บวก/ลบ 0.5 เฮิรตซ์ ของความถี่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 50 เฮิรตซ์ พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความถึ่ ้ดังกล่าวเกินไม่เกินค่ามาตรฐานความถี่ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดไว้

5.1.3 ผลการศึกษาการชดเชยความถี่เนื่องจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้า

จากการศึกษาอุปกรณ์ชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าซึ่งมีหลายชุดอุปกรณ์ที่สามารถ ถดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้เช่น Load Frequency Control with Automatic Voltage Regulator with PID, ที่ใช้ควบคุมที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า Power System Stabilizer (PSS), Static Var Compensator, (SVC) หรือ Thysistor Control Series Compensator (TCSC) สามารถชดเชยความถี่ของการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าได้โดยทำการชดเชยแรงดันไฟฟ้า หรือการเพิ่มค่าของแรงดันไฟฟ้าจริง หรือกำลังไฟฟ้ารี แอกทีฟของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ตกลงเนื่องจากเปลี่ยนแปลงของความถิ่นั่นเอง และจากการศึกษา และจำลองรูปแบบการชดเชยความถี่ในการวิจัยนี้ใช้ Load Frequency Control with Automatic Voltage Regulator with PID โดยการจำลองรูปแบบของการแกว่ง ของกำลังไฟฟ้า ซึ่งทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในระบบการผลิตของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าขนาด 5 MJ/MVA ที่ใกล้เคียงมากที่สุด เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าพร้อมทำ การชดเชยการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสามารถสรุปได้ว่า ชุดควบคุมการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบ การผลิตไฟฟ้าที่เรียกว่า Automatic Voltage Regulator with PID สามารถชดเชยความถี่ในรูปแบบ การหลิตไฟฟ้าที่เรียกว่า Automatic Voltage Regulator with PID สามารถชดเชยความถี่ในรูปแบบ การปรับเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้เข้าใกล้ 1 p.u. หรือการยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นนั้นเองส่งผล ทำให้ก่าความถี่ที่ตกลงเพิ่มขึ้นทำให้ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามค่า เกณฑ์มาตรฐานด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนดจากแบบจำลองการชดเชยความถี่ แด่ อย่างไรก็ตามในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงการการกวบคุม และการชดเชยความถี่การแกว่งของ กำลังไฟฟ้าจำเป็นต้องมีศึกษา และเพิ่มเติมองก์ประกอบส่วนที่เกี่ยวข้องพร้องกับเงื่อนไขต่างๆ เพื่อใช้ กวบคุมความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในสภาวะการจ่ายโหลดปกติ และเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ จำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการแกว่งของกำถังไฟฟ้าสองแบบได้แก่การ แกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode ปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ ้มีมาตรการให้บริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยติดตั้งชุดควบคุมการเปลี่ยนแปลงความถี่ และระบบ จำหน่ายแรงคัน 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีการออกแบบระบบป้องกันให้ระบบผลิตไฟฟ้า เอกชนรายย่อยตัดระบบการผลิตออกจากสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทุกกรณีเมื่อ เกิดเหตุการณ์ผิดปกติขึ้นในระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจนกว่าระบบของการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะกลับมาจ่ายโหลดได้เป็นปกติ ระบบการผลิตของบริษัทผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ้จึงจะสามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามาเข้ามาในสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ ซึ่งใน ปัจจุบันการส่งจ่ายกำลังในสายส่งระบบ 115 เควี พื้นที่เขต 1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีระบบการ ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยเพียงหนึ่งรายต่อร่วมกับสายส่งหนึ่งวงจรที่จำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ ้ไฟในระบบ 115 เควี ซึ่งจัดอยู่ในรูปแบบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode อนาคต หากมีการหน่วงเวลาการจ่ายกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยออกไปเพื่อไม่ให้เสียโอกาส ในการขายกระแสไฟฟ้า การพิจารณาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในแบบ Local Plant Mode และ Inter Area Mode จึงมีความสำคัญพร้อมๆ กับการควบคุมค่าของการเปลี่ยนแปลงความถึ่ของชุดควบคุมที่ ติดตั้งในระบบการผถิตของผู้ผถิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ซึ่งในการศึกษาและวิจัยต่อไปจำเป็นต้อง ้ศึกษาและวิจัยชุดของตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงความถี่ พร้อมๆ กับการเก็บข้อมูลการเกิดการแกว่ง ้ของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องมือวัคคุณภาพไฟฟ้าเพื่อใช้เปรียบเทียบผลการคำนวณทางโปรแกรม

กอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK เพื่อหาแนวทางป้องกัน และลดค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟ ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในอนาคตต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, วารสาร นโยบายพลังงาน ฉบับที 38
 ตุลาคม ธันวาคม 2540 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต1จังหวัดพระนครศรีอยุธยา, เอกสาร การ ประชุม เพื่อเตรียมความ พร้อมรับการลงทุนก่อสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนราย (SPP)
 8 มิถุนายน 2551
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, การวิเคราะห์การเกิด Power Oscillations ระบบไฟฟ้า ของ กฟผ. โดยคณะทำงานวิจัย กฟผ โครงการวิจัยรหัส 30-58 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, WWW.PEA.CO.TH
- [3] สำนักงานแผนและนโยบายพลังงาน, WWW.EPPO.GO.TH
- [4] R.Mohan Mathur and Rajiv K. Varma, "Thristor-Based FACTS Controllers For Electricial Transmission System"., Wiley Interscuence., A John Wiley & Sons, Inc. Publication
- [5] Angammana Mohottige Chitral Jayasanka Angammana, "Analytical Study of Factors Affecting to Electromechanical Oscillations In Power System ", A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering ,Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development Thailand May 2006
- [6] Kundur, P, " Power System Stability and Control ", Chapter 12, Small-Signal Stability, pp.699-736.
- [7] Saadat, H, "Power System Analysis", Chaptet 11, Stability, pp. 460-484.
- [8] Narain, G, Hingorani and Laszlo Gyugyi., "Understanding FACTS ", Concepts and Technology of Flexible AC Transmission System.
- [9] Bergen, A.R. and Vittal, V, " Power Systems Analysis", Prentice_hall Inc , 2000, pp.90-100.
- [10] Hingorani, N.G., Understanding FACTS. IEEE Power Engineering society. n.p. 2000, pp.135-160.
- [11] ชาญณรงค์ สอนคิษฐ์, " ปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง, **คุณภาพไฟฟ้า"**, เล่มที่ 23, 2550. หน้า 6-11.
- [12] Mithulananthan N. and Srivastava S.C. (1998). "Investigation of Voltage Collapse
- [13] Rogers G., (2000). "Power System Oscillations", Massachusetts, kluwer Acadamic Publishers.

- [14] Kao W.S. (2001). "The Effect of Load Models on Unstable Low Frequency Oscillation Damping in Taipower System Experience w/wo Power System Stabilizers ", IEEE Trans, Vol.16, No. 3.
- [15] Canizares C.A, Mithulananthan N, Milano F. and Reeve J. (2004) "Linear Performance Indices to Predict Oscillatory Stability Problems in Power Systems ", IEEE Trans, Vol. 19, No.2.
- [16] Mithulananthan N, Canizares C.A, Reeve J. and Rogers G.J. (2003). "Comparison Of PSS, SVC and STATCOM Controllers for Damping Power System Oscillations", IEEE Trans, Vol. 18, No. 2.
- [17] Padiyar K.R and Prakash V.S.(2003). "Tuning and Performance Evaluation of Damping Controller for a STATCOM ", Electrical Power and Energy Systems.
- [18] Pourboghart F, Farid F, Hatziadoniu C.J, Daneshdoost M, Mehdian F. and Lotfalian M, 2004). "Local Sliding Control for Damping Interarea Power Oscillations", IEEE Trans., Vol. 19, No. 2.
- [19] Mithulananthan N, S.C.Srivastava EPSM Energy Program, "Voltage Collapse Incident in Sri Lankan Power System Network ", Asian Institute of Technology, P.O.Box 4, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand.
- [20] Mithulananthan N, " Tuning, Performance and Interactions of PSS and FACTS Controllers ", Student Member., IEEE., Claudio A Cañizares, Senior Member, IEEE, and John Reeve, Fellow, IEEE
- [21] Mithulananthan N, Canizares C.A., Reeve J. and Rogers G.J. (2003). "Comparison Of PSS, SVC and STATCOM Controllers for Damping Power System Oscillations", IEEE Trans, Vol. 18, No. 2.
- [22] Pourboghart F, Farid F, Hatziadoniu C.J, Daneshdoost M, Mehdian F. and Lotfalian M. (2004). "Local Sliding Control for Damping Interarea Power Oscillations", IEEE Trans., Vol. 19, No. 2.
- [23] Canizares C.A, Mithulananthan N, Milano F. and Reeve J.(2004) "Linear Performance Indices to Predict Oscillatory Stability Problems in Power Systems ", IEEE Trans., Vol. 19, No. 2.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [24] Chung C.Y, Wang K.W, Tse C.T, Bian X.Y. and David A.K. (2003). "Probabilistic
 Eigenvalue Sensitivity Analysis and PSS Design In Multimachine Systems", IEEE Trans, Vol. 18, No. 4.
- [25] พิทักษ์ ทางรัตนสุวรรณ, ISBN974-03-1464 -3 "การปรับปรุงสมรรถนะของระบบกำลัง ด้วยระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และอุปกรณ์ FACTS", วิทยานพนธ์ ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง ปีการศึกษา 2544 ,จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย





EN 50 160 - Limits

Averaging time	Limits: 95% of 1 week	Limits: 100% of 1 week	
10 min	± 10%	-15%/ +10 %	
Pst 10 min			
Plt 120 min	Plt < 1		
10 min	table up to 40 th harmonic		İ
10 min	< 8%		
3 sec	< 5‰of U⊵ 99% of 1 day		
10 sec	<u>+</u> 1%	-6%/+4%	
10 min	<2%		
10 msec	not defined		
10 msec	not defined		
	Averaging time 10 min Pst 10 min Plt 120 min 10 min 3 sec 10 sec 10 min 10 min 10 msec 10 msec	Averaging time Limits: 95% of 1 week 10 min \pm 10% Pst 10 min \pm 10% Pst 10 min Plt < 1	Averaging time Limits: 95% of 1 week Limits: 100% of 1 week 10 min \pm 10% -15%/ \pm 10 % Pst 10 min Plt 10% -15%/ \pm 10 % Plt 120 min Plt <1

Measurement over 1 week



Standard for Power Quality

in the European Community

Conditions

- Measurement interval shall be one week
- No gap between measurements
- Compliance with IEC 61000-4-7 for harmonics
- Compliance with IEC 61000-4-15 for flicker
- Statistical approach

EN 50 160 - Parameters Voltage variations Flicker Pst / Plt Harmonics : order 2 to 40 Signalling (Ripple Control) Voltages Frequency Unbalance of 3-phase systems Voltage dips and surges Interruptions Measurement over 1 week

EN 50 160 - Objectives

The standard deals with voltage characteristics in statistical or probabilistic terms.

Characteristics of supply voltage during normal conditions which affect usefulness of electricity to the customer :

> power frequency magnitude of supply voltage wave form symmetry of the 3 phase voltages

EN 50 160 - Objectives

Characteristics vary: random in time, random in location, depend on supply terminal,

will sometimes exceed the limits

Influences: unpredictable phenomena

changes of load disturbances generated by certain equipment occurrence of faults caused by external events

EN 50 160 - Limits

Parameter	Averaging time	Limits: 95% of 1 week	Limits: 100% of 1 week
Voltage variations	10 min	<u>+</u> 10%	-15% / +10 %
Flicker	Pst 10 min		
	Plt 120 min	Plt < 1	
Harmonics	10 min	table up to 40 th harmonic	
THD	10 min	< 8%	
Signaling voltage	3 sec	< 5%of UN 99% of 1 day	
(110kHz)			
Frequency	10 sec	<u>±</u> 1%	-6% / +4%
Unbalance	10 min	< 2%	
voltage dip	10 msec	not defined	
Interruptions (<1% U_N)	10 msec	not defined	

Measurement over 1 week

Voltage Variations

Cross section of cables must be increased to reduce the voltage drop!



95 % of 10 minute average values during one week must be within \pm 10% of U_N

Flicker IEC 868 (Pst & Plt)

High flicker values cause light intensity fluctuations !



Long term flicker value during 95% of 1 week: Plt <=1

Flicker

Low Frequency voltage variation, caused by arc furnaces, welding machines,...



Harmonics and Interharmonics

The 5th harmonic exceeds the limit. Network impedance must be reduced !



The limit for each single harmonic shall not be exceeded during 95% of a week.





Represent 5% of the time, i.e. 8 hours/week

Ripple Control Voltages

The signal level must be sufficient for the receiver !



The ripple control voltage shall not exceed a frequency dependent limit in % of the nominal voltage (e.g.: 725Hz -> limit: 5 %).

Frequency and Unbalance

Unbalance and frequency variations cause no problems ! Unbalance: positive/negative system < 2%. Frequency: 50Hz +/- 1% (95 % of 1 week)






Voltage dip/surge: Half cycle RMS value (10ms) is out of +/-10% of U_N

Voltage Dip



Voltage Interruptions

A lightning strike caused an interruption !



Interruption: Voltage drops below 1% of U_N

Network Performance Tests



EN 50 160 - Voltage Quality



Measurement period:1 week

= 170 000 measurement values

An intelligent analysis is necessary !



Tel. (015) 2 690 390 Fax (015) 2 690 190

Page 19 EN 50160:1999

There are several other characteristics that may have a disturbing or damaging effect on customers' equipment, or even on the customers. Some of these disturbing characteristics arise from unavoidable transient events in the supply system itself, resulting from faults or switching, or caused by atmospheric phenomena (lightning). Others, however, are the result of various uses of electricity which directly alter the waveform of the voltage, impose a particular pattern on its magnitude, or superimpose signalling voltages. Coincidentally with the modern proliferation of equipment which has these effects, there is also an increase in the equipment which is susceptible to the disturbances.

This standard defines where possible the variations of the characteristics normally to be expected. In other cases the standard provides the best possible indication of what, in quantitative terms, is to be expected.

Since there is a considerable diversity in the structures of the distribution systems in different areas, arising from differences in load density, population dispersion, local topography, etc. many customers will experience considerably smaller variations of the voltage characteristics than the values given in this standard.

It is a particular feature of electricity that, in respect of some of its characteristics, its quality is affected by the user rather than by the producer or supplier. In these cases the customer is an essential partner, with the supplier, in the effort to maintain the quality of electricity.

It should be noted that this question is addressed directly by other standards, already published or in preparation: Emission standards govern the levels of electromagnetic disturbances which customers' equipment may be allowed to generate. Immunity standards set down disturbance levels which the equipment should be capable of tolerating without undue damage or loss of function. A third set of standards, for electromagnetic compatibility levels, has the function of enabling coordination and coherence of the emission and immunity standards, with the overall objective of achieving electromagnetic compatibility.

Although this standard has obvious links with compatibility levels, it is important to note that it relates to voltage characteristics of electricity. It is not a standard for compatibility levels. It should be especially noted that the performance of equipment might be impaired, if the equipment is subjected to supply conditions more severe than specified in their product standard.

Page 18 EN 50160:1999

Annex A (informative)

Special nature of electricity

Electricity is an energy form which is particularly versatile and adaptable. It is utilised by being converted into several other forms of energy: heat, light, mechanical energy, and the many electromagnetic, electronic, acoustic and visual forms which are the bases of modern telecommunications, information technology and entertainment.

Electricity as delivered to the customers has several characteristics which are variable and which affect its usefulness to the customer. This standard describes characteristics of electricity in terms of the alternating voltage. With respect to the use of electricity it is desirable that the supply voltage would alternate at a constant frequency, with a perfect sine wave and a constant magnitude. In practice, there are many factors which cause departures from this. In contrast to normal products, application is one of the mainfactors which influence the variation of "characteristics".

The flow of energy to the customer's appliances gives rise to electric currents which are more or less proportional to the magnitudes of the customers' demands. As these currents flow through the conductors of the supply system, they give rise to voltage drops. The magnitude of the supply voltage for an individual customer at any instant is a function of the cumulative voltage drops on all the components of the system through which that customer is supplied, and is determined both by the individual demand and by the simultaneous demands of other customers. Since each customer's demand is constantly varying, and there is a further variation in the degree of coincidence between the demands of several customers, the supply voltage is also variable. For this reason, this standard deals with the voltage characteristics in statistical or probabilistic terms. It is in the economic interests of the customer that the standard of supply should relate to normally expected conditions rather than to rare contingencies, such as an unusual degree of coincidence between the demands of several appliances or several customers.

Electricity reaches the customer through a system of generation, transmission and distribution equipment. Each component of the system is subject to damage or failure due to the electrical, mechanical and chemical stresses which arise from several causes, including extremes of weather, the ordinary processes of wear and deterioration with age, and interference human activities, birds, animals, etc. Such damage can affect or even interrupt the supply one or to many customers.

To keep the frequency constant requires the amount of running generation capacity to be matched instant by instant to the simultaneous combined demand. Because both the generation capacity and the demand are liable to change in discrete amounts, especially in the event of faults on the generation, transmission or distribution systems, there is always a risk of a mismatch, resulting in an increase or decrease of the frequency. This risk is reduced, however, by connecting many systems into one large interconnected system, the generation capacity of which is very great relative to the changes which are likely to occur.

Page 17 EN 50160:1999





3.13 Mains signalling voltage on the supply voltage

In some countries the public distribution systems may be used by the public supplier for the transmission of signals. Over 99 % of a day the three second mean of the signal voltages shall be less or equal to the values given in Figure 2. For frequencies from 9 to 95 kHz the values are under consideration.

NOTE: It is assumed that customers will not be allowed to use the public mv network for signalling purposes.

Page 16 EN 50160:1999

Moreover, the THD of the supply voltage (including all harmonics up to the order 40) shall be less than or equal to 8 %.

NOTE: The limitation to order 40 is conventional.

armonics	Even h	Odd harmonics						
		es of 3	Multipl	Not multiples of 3				
Relative voltage	Order h	Relative voltage	Order h	Relative voltage	Order h			
2 %	2	5 % ⁷	3	5 6%				
1 %	4	1,5 %	9	5 %	7			
0,5 %	624	0,5 %	15	3,5 %	11			
		0,5 %	21	3 %	13			
		and the strength of the		2 %	17			
100		and the second second		1,5 %	19			
				1,5 %	23			
		and the second sec		1.5%	25			

Table 2: Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of U_c

*) Depending on the network design the value for the third harmonic order can be substantially lower.

NOTE: No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance effects.

2

3.12 Interharmonic voltage

The level of interharmonics is increasing due to the development of frequency converters and similar control equipment. Levels are under consideration, pending more experience.

In certain cases interharmonics, even at low levels, give rise to flicker (see 3.4.2), or cause interference in ripple control system.

3.7 Long interruptions of the supply voltage

Accidental interruptions are usually caused by external events or actions which cannot be prevented by the supplier. It is not possible to indicate typical values for the annual frequency and durations of long interruptions. This is due to wide differences in system configurations and structure in various countries and also because of the unpredictable effects of the actions of third parties and of the weather.

Indicative values:

Under normal operating conditions the annual frequency of voltage interruptions longer than three minutes may be less than 10 or up to 50 depending on the area.

Indicative values are not given for prearranged interruptions, because they are announced in advance.

3.8 Temporary power frequency overvoltages between live conductors and earth

A temporary power frequency overvoltage generally appears during an earth fault in the public distribution system or in a customer's installation and disappears when the fault is cleared. The expected value of such an overvoltage depends on the type of earthing of the system. In systems with a solidly or impedance earthed neutral the overvoltage shall generally not exceed 1,7 U_c . In isolated or resonant earthed systems the overvoltage shall generally not exceed 2,0 U_c . The type of earthing will be indicated by the distributor.

3.9 Transient overvoltage between live conductors and earth

Transient overvoltages in mv supply systems are caused by switching or, directly or by induction, by lightning. Switching overvoltages generally are lower in amplitude than lightning overvoltages, but they may have a shorter rise time and/or longer duration.

NOTE: The customers' insulation coordination scheme must be compatible with that adopted by the supplier.

3.10 Supply voltage unbalance

Under normal operating conditions, during each period of one week, 95 % of the 10 minute mean rms values of the negative phase sequence component of the supply voltage shall be within the range 0 to 2 % of the positive phase sequence component. In some areas unbalances up to 3 % occur.

NOTE: In this standard only values for the negative sequence component are given because this component is the relevant one for the possible interference of appliances connected to the system.

3.11 Harmonic voltage

Under normal operating conditions, during each period of one week, 95 % of 10 minute mean rms values of each individual harmonic voltage shall be less than or equal to the value given in Table 2. Resonances may cause higher voltages for an individual harmonic.

Page 14 EN 50160:1999

3.2 Magnitude of the supply voltage

The magnitude is given by the declared voltage $U_{\rm c}$.

3.3 Supply voltage variations

Under normal operating conditions excluding voltage interruptions, during each period of one week, 95 % of the 10 min mean rms values of the supply voltage shall be within the range of $U_c \pm 10$ %.

3.4 Rapid voltage changes

3.4.1 Magnitude of rapid voltage changes

Rapid voltage changes of the supply voltage are mainly caused either by load changes in the customers' installations or by switching in the system.

Under normal operating conditions rapid voltage changes generally do not exceed 4 % U_c but changes of up to 6 % U_c with a short duration might occur some times per day in some circumstances.

3.4.2 Flicker severity

Under normal operating conditions, in any period of one week the long term flicker severity caused by voltage fluctuation should be $P_{t} \leq 1$ for 95 % of the time.

3.5 Supply voltage dips

Voltage dips are generally caused by faults occurring in the customers' installations or in the public distribution system. The annual frequency varies greatly depending on the type of supply system and on the point of observation. Moreover, the distribution over the year can be very irregular.

Indicative values:

Under normal operating conditions the expected number of voltage dips in a year can be from up to a few tens to up to one thousand. The majority of voltage dips have a duration less than one 1 s and a depth less than 60 %. However, voltage dips with greater depth and duration can occur infrequently. In some areas voltage dips with depths between 10 % to 15 % of U_c can occur very frequently as a result of the switching of loads in customers' installations.

3.6 Short interruptions of the supply voltage

Indicative values:

Under normal operating conditions the annual occurrence of short interruptions of the supply voltage ranges from up to a few tens to up to several hundreds. The duration of approximately 70 % of the short interruptions may be less than one second.

NOTE: In some documents short interruptions are considered as having durations not exceeding one minute. But sometimes control schemes are applied which need operating times of up to three minutes in order to avoid long voltage interruptions.

4

2.13 Mains signalling voltage on the supply voltage

In some countries the public distribution systems may be used by the public supplier for the transmission of signals. Over 99 % of a day the three second mean of signal voltages shall be less or equal to the values given in Figure 1.

NOTE: Power line carrier signalling with frequencies in the range from 95 kHz to 148,5 kHz may be used in customers' installations. Though the use of the public system for the transmission of signals between customers is not allowed, voltages of these frequencies up to 1,4 V rms in the public Iv distribution system have to be taken into account. Because of the possibility of mutual influences of neighbouring signalling installations the customer may need to apply protection or appropriate immunity for his signalling installation against this influence.





3 Medium-voltage supply characteristics

Customers with demands exceeding the capacity of the low voltage network are generally supplied at declared voltages above 1 kV. This standard applies to such electricity supplies at declared voltages up to 35 kV.

NOTE: Customers may be supplied at such voltages also to satisfy special requirements or to mitigate conducted disturbances emitted by their equipment.

3.1 Power frequency

The nominal frequency of the supply voltage shall be 50 Hz. Under nonial operating conditions the mean value of the fundamental frequency measured over 10 s shall be within a range of

for systems with sync	chronous connection to an interco	onnected system
50 Hz ± 1 %	(i.e. 49,5 50,5 Hz)	during 99,5 % of a year,
50 Hz + 4 %/- 6 %	(i.e. 47 52 Hz)	during 100 % of the time.
for systems with no systems on certain is	synchronous connection to an lands)	interconnected system (e.g. supply
50 Hz ± 2 %	(i.e. 49 51 Hz)	during 95 % of a week,
50 Hz ± 15 %	(i.e. 42,5 57,5 Hz)	during 100 % of the time.

2.10 Supply voltage unbalance

Under normal operating conditions, during each period of one week, 95 % of the 10 minute mean rms values of the negative phase sequence component of the supply voltage shall be within the range 0 to 2 % of the positive phase sequence component. In some areas with partly single phase or two phase connected customers' installations, unbalances up to about 3 % at three-phase supply terminals occur.

NOTE: In this standard only values for the negative sequence component are given because this component is the relevant one for the possible interference of appliances connected to the system.

2.11 Harmonic voltage

Under normal operating conditions, during each period of one week, 95 % of the 10 minute mean rms values of each individual harmonic voltage shall be less than or equal to the value given in Table 1. Resonances may cause higher voltages for an individual harmonic.

Moreover, the THD of the supply voltage (including all harmonics up to the order 40) shall less than or equal to 8 %.

NOTE: The limitation to order 40 is conventional.

	Odd har	Even ha	rmonics			
Not mult	tiples of 3	Multip	les of 3	(paraginal) - 1		
Order Relative h voltage		Order h	Relative voltage	Order h	Relative voltage	
5 7 11 13 17 19 23 25	6 % 5 % 3,5 % 3 % 2 % 1,5 % 1,5 %	3 9 15 21	5 % 1,5 % 0,5 % 0,5 %	2 4 624	2 % 1 % 0,5 %	

Table 1: Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of U_n

2.12 Interharmonic voltage

The level of interharmonics is increasing due to the development of frequency converters and similar control equipment. Levels are under consideration, pending more experience.

In certain cases interharmonics, even at low levels, give rise to flicker (see 2.4.2), or cause interference in ripple control systems.

2.6 Short interruptions of the supply voltage

Indicative values:

Under normal operating conditions the annual occurrence of short interruptions of the supply voltage ranges from up to a few tens to up to several hundreds. The duration of approximately 70 % of the short interruptions may be less than one second.

NOTE: In some documents short interruptions are considered as having durations not exceeding one minute. But sometimes control schemes are applied which need operating times of up to three minutes in order to avoid long voltage interruptions.

2.7 Long interruptions of the supply voltage

Accidental interruptions are usually caused by external events or actions which cannot be prevented by the supplier. It is not possible to indicate typical values for the annual frequency and durations of long interruptions. This is due to wide differences in system configurations and structure in various countries and also because of the unpredictable effects of the actions of third parties and of the weather.

Indicative values:

Under normal operating conditions the annual frequency of voltage interruptions longer than three minutes may be less than 10 or up to 50 depending on the area.

Indicative values are not given for prearranged interruptions, because they are announced in advance.

2.8 Temporary power frequency overvoltages between live conductors and earth

A temporary power frequency overvoltage generally appears during a fault in the public distribution system or in a customer's installation, and disappears when the fault is cleared. Usually, the overvoltage may reach the value of the phase-to-phase voltage due to a shift of the neutral point of the three-phase voltage system.

Indicative values:

Under certain circumstances, a fault occurring upstream of a transformer will produce temporary overvoltages on the lv side for the time during which the fault current flows. Such overvoltages will generally not exceed 1,5 kV rms.

2.9 Transient overvoltages between live conductors and earth

Transient overvoltages generally will not exceed 6 kV peak, but higher values occur occasionally. The rise time covers a wide range from milliseconds down to much less than a microsecond.

NOTE: The energy content of a transient overvoltage varies considerably according to the origin. An induced overvoltage due to lightning generally has a higher amplitude but lower energy content than an overvoltage caused by switching, because of the generally longer duration of such switching overvoltages. Surge protective devices in a customer's installation should be selected to take account of the more severe energy requirement for fault switching overvoltages. This will cover the induced overvoltages due both to lightning and to system switching.

Page 10 EN 50160:1999

Supply voltage variations 2.3

Under normal operating conditions, excluding situations arising from faults or voltage interruptions,

 during each period of one week 95% of the 10 min mean rms values of the supply voltage shall be within the range of $U_n \pm 10\%$.

NOTE 1: Until the year 2003 the range of the voltage may differ from these standard values, in accordance with HD 472 S1.

· all 10 minutes mean rms values of the supply voltage shall be within the range of U. + 10% / - 15%.

NOTE 2: In cases of electricity supplies in remote areas with long lines the voltage could be outside the range of Un + 10 / - 15%. Customers should be informed.

Rapid voltage changes 2.4

2.4.1 Magnitude of rapid voltage changes

Rapid voltage changes of the supply voltage are mainly caused either by load changes in customers' installations or by switching in the system.

Under normal operating conditions a rapid voltage change generally does not exceed 5 % Un but a change of up to 10 % Un with a short duration might occur some times per day in some circumstances.

NOTE: A voltage change resulting in a voltage less than 90 % Un is considered a supply voltage dip (see 2.5).

2.4.2 Flicker severity

Under normal operating conditions, in any period of one week the long term flicker severity caused by voltage fluctuation should be $P_{t} \leq 1$ for 95 % of the time.

NOTE: Reaction to flicker is subjective and can vary depending on the perceived cause of the flicker and the period over which it persists. In some cases Pit = 1 gives rise to annoyance, whereas in other cases higher levels of Plt are found without annoyance.

Supply voltage dips 2.5

Voltage dips are generally caused by faults occurring in the customers' installations or in the public distribution system. They are unpredictable, largely random events. The annual frequency varies greatly depending on the type of supply system and on the point of observation. Moreover, the distribution over the year can be very irregular.

Indicative values:

Under normal operating conditions the expected number of voltage dips in a year may be from up to a few tens to up to one thousand. The majority of voltage dips have a duration less than 1 s and a depth less than 60 %. However, voltage dips with greater depth and duration can occur infrequently. In some areas voltage dips with depths between 10 % and 15 % of Un can occur very frequently as a result of the switching of loads in customers' installations.

ENV 61000-2-2	1993	Electromagnetic compatibility Part 2: Environment Section 2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems (IEC 61000-2-2:1990)
HD 472 S1	1989	Nominal voltages for low voltage public electricity supply systems (IEC 60038:1983, modified; title of IEC 60038: IEC standard voltages)
IEC 60050-161	1990	International Electrotechnical Vocabulary Chapter 161: Electromagnetic compatibility
UNIPEDE 91 en	50.02	Voltage dips and short interruptions in public medium voltage electricity supply systems

2 Low-voltage supply characteristics

2.1 Power frequency

The nominal frequency of the supply voltage shall be 50 Hz. Under normal operating conditions the mean value of the fundamental frequency measured over 10 s shall be within a range of

for systems with sync	hronous connection to an inf	terconnected system
50 Hz ± 1 %	(i.e. 49,5 50,5 Hz)	during 99,5 % of a year,
50 Hz + 4 %/- 6 %	(i.e. 47 52 Hz)	during 100 % of the time.

for systems with no synchronous connection to an interconnected system (e.g. supply
systems on certain islands) $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ (i.e. 49 ... 51 Hz) $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$ (i.e. 42,5 ... 57,5 Hz)during 100 % of the time.

2.2 Magnitude of the supply voltage

The standard nominal voltage Un for public low voltage is:

- for four-wire three phase systems:
 U_n = 230 V between phase and neutral,
- for three-wire three phase systems:
 U_n = 230 V between phases.

NOTE 1: Until the year 2003 the nominal voltage may differ from 230 V in accordance with HD 472 S1.

NOTE 2: In low voltage systems declared and nominal voltage are equal.

Page 8 EN 50160:1999

1.3.22 interharmonic voltage

A sinusoidal voltage with a frequency between the harmonics, i.e. the frequency is not a integer multiple of the fundamental.

NOTE: Interharmonic voltages at closely adjacent frequencies can appear at the same time forming a wide ban spectrum.

1.3.23 voltage unbalance

In a three-phase system, a condition in which the rms values of the phase voltages or th phase angles between consecutive phases are not equal.

1.3.24 mains signalling voltage

A signal superimposed on the supply voltage for the purpose of transmission of information the public distribution system and to customers' premises. Three types of signals in the publ distribution system can be classified:

- ripple control signals: superimposed sinusoidal voltage signals in the range of 110 Hz t 3000 Hz;
- power-line-carrier signals: superimposed sinusoidal voltage signals in the range betwee 3 kHz to 148,5 kHz;
- mains marking signals: superimposed short time alterations (transients) at selecte points of the voltage waveform.

1.4 Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from othe publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text ar the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporate in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 50065-1 A1	1991 1992	Signalling on low-voltage electrical installations in the frequerary range 3 kHz to 148,5 kHz Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnet disturbances
EN 60555-1	1987	Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment – Part 1: Definitions (IEC 60555-1:1982)
EN 60868	1993	Flickermeter – Functional and design specifications (IEC 60868:1986 + A1:1990)
EN 61000-4-7	1993	Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide or harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto (IEC 61000-4-7:1991)

1.3.17 supply voltage dip

A sudden reduction of the supply voltage to a value between 90 % and 1 % of the declared voltage U_c , followed by a voltage recovery after a short period of time. Conventionally the duration of a voltage dip is between 10 ms and 1 minute. The depth of a voltage dip is defined as the difference between the minimum rms voltage during the voltage dip and the declared voltage. Voltage changes which do not reduce the supply voltage to less than 90 % of the declared voltage U_c are not considered to be dips.

1.3.18 supply interruption

A condition in which the voltage at the supply terminals is lower than 1 % of the declared voltage, U_c . A supply interruption can be classified as:

- prearranged, when consumers are informed in advance, to allow the execution of scheduled works on the distribution system, or
- accidental, caused by permanent or transient faults, mostly related to external events, equipment failures or interference. An accidental interruption is classified as:
 - a long interruption (longer than three minutes) caused by a permanent fault,
 - a short interruption (up to three minutes) caused by a transient fault.

NOTE 1: The effect of a prearranged interruption can be minimized by the customers by taking appropriate measures.

NOTE 2: Accidental supply interruptions are unpredictable, largely random events.

1.3.19 temporary power frequency overvoltage

An overvoltage, at a given location, of relatively long duration.

NOTE: Temporary overvoltages usually originate from switching operations or faults (e.g. sudden load reduction, single phase faults, non-linearities).

1.3.20 transient overvoltage

A short duration oscillatory or non-oscillatory overvoltage usually highly damped and with a duration of a few milliseconds or less.

NOTE: Transient overvoltages are usually caused by lightning, switching or operation of fuses. The rise time of a transient overvoltage can vary from less than a microsecond up to a few milliseconds.

1.3.21 harmonic voltage

A sinusoidal voltage with a frequency equal to an integer multiple of the fundamental frequency of the supply voltage. Harmonic voltages can be evaluated:

- individually by their relative amplitude (U_n) related to the fundamental voltage U₁, where h is the order of the harmonic;
- globally, for example by the total harmonic distortion factor THD, calculated using the following expression:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$

NOTE: Harmonics of the supply voltage are caused mainly by customers' non-linear loads connected to all voltage levels of the supply system. Harmonic currents flowing through the system impedance give rise to harmonic voltages. Harmonic currents and system impedances and thus the harmonic voltages at the supply terminals vary in time.

Page 6 EN 50160:1999

1.3.7 low voltage (abbreviation: lv)

For the purpose of this standard a voltage, used for the supply of electricity, whose upper limit of nominal rms value is 1 kV.

1.3.8 Medium voltage (abbreviation: mv)

For the purpose of this standard a voltage, used for the supply of electricity, whose nominal rms value lies between 1 kV and 35 kV.

1.3.9 normal operating condition

For a distribution system the condition of meeting load demand, system switching and clearing faults by automatic system protection in the absence of exceptional conditions due to external influences or major events.

1.3.10 conducted disturbance

Electromagnetic phenomenon propagated along the line conductors of a distribution system. In some cases an electromagnetic phenomenon is propagated across transformer windings and hence between networks at different voltage levels. These disturbances may degrade the performance of a device, equipment or system or they may cause damage.

1.3.11 frequency of the supply voltage

Repetition rate of the fundamental wave of the supply voltage measured over a given interval of time.

1.3.12 voltage variation

An increase or decrease of voltage normally due to variation of the total load of a distribution system or a part of it.

1.3.13 rapid voltage change

A single rapid variation of the rms value of a voltage between two consecutivelevels which are sustained for definite but unspecified durations.

1.3.14 voltage fluctuation

A series of voltage changes or a cyclic variation of the voltage envelope (IEV 161-08-05).

1.3.15 flicker

Impression of unsteadiness of visual sensation induced by a light stimulus whose luminance spectral distribution fluctuates with time (IEV 161-08-13).

NOTE: Voltage fluctuation causes changes of the luminance of lamps which can create the visual phenomenon called flicker. Above a certain threshold flicker becomes annoying. The annoyance grows very rapidly with the amplitude of the fluctuation. At certain repetition rates even very small amplitudes can be annoying.

1.3.16 flicker severity

Intensity of flicker annoyance defined by the UIE-IEC flicker measuring method and evaluated by the following quantities:

- short term severity (Pst) measured over a period of ten minutes;
- long term severity (Pit) calculated from a sequence of 12 Pst-values over a two hour interval, according to the following expression:

 $P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^{3}}{12}}$

1.2 Object

The object of this standard is to define and describe the characteristics of the supply voltage concerning:

- frequency;
- magnitude;
- wave form;
- symmetry of the three phase voltages.

These characteristics are subject to variations during the normal operation of a supply system due to changes of load, disturbances generated by certain equipment and the occurrence of faults which are mainly caused by external events.

The characteristics vary in a manner which is random in time, with reference to any specific supply terminal, and random in location, with reference to any given instant of time. Because of these variations, the levels of the characteristics can be expected to be exceeded on a small number of occasions.

Some of the phenomena affecting the voltage are particularly unpredictable, so that it is impossible to give definite values for the corresponding characteristics. The values given in this standard for such phenomena, e.g. voltage dips and voltage interruptions, shall be interpreted accordingly.

1.3 Definitions

For the purposes of this standard, the following definitions apply.

1.3.1 customer

The purchaser of electricity from a supplier.

1.3.2 supplier

The party who provides electricity via a public distribution system.



1.3.3 supply terminals

Point of connection of the customer's installation to the public system.

NOTE: This point can differ from, for example, the electricity metering point or the point of common coupling.

1.3.4 supply voltage

The rms value of the voltage at a given time at the supply terminals, measured over a given interval.

1.3.5 nominal voltage of a system (U_p)

The voltage by which a system is designated or identified and to which certain operating characteristics are referred.

1.3.6 declared supply voltage (U_c)

The declared supply voltage U_c is normally the nominal voltage U_n of the system. If by agreement between the supplier and the customer a voltage different from the nominal voltage is applied to the terminal, then this voltage is the declared supply voltage U_c .

Page 4 EN 50160:1999

1 General

1.1 Scope

This standard gives the main characteristics of the voltage at the customer's supply terminals in public low voltage and medium voltage electricity distribution systems under normal operating conditions. This standard gives the limits or values within which any customer can expect the voltage characteristics to remain, and does not describe the typical situation for a customer connected to a public supply network.

NOTE: For the definitions of low and medium voltage see 1.3.7 and 1.3.8.

The standard does not apply under abnormal operating conditions including the following:

- conditions arising as a result of a fault or a temporary supply arrangement adopted to keep customers supplied during maintenance and construction work or to minimize the extent and duration of a loss of supply,
- in case of non-compliance of a customer's installation or equipment with the relevant standards or with the technical requirements for connection of loads, established either by the public authorities or the electricity supplier including the limits for the emission of conducted disturbances,
- in case of non-compliance of a generation installation with the relevant standards or with the technical requirements for interconnection with an electricity distribution system established either by the public authorities or the electricity supplier (e.g. embedded generation),
- in exceptional situations outside the electricity supplier's control, in particular,
 - exceptional weather conditions and other natural disasters,
 - · third party interference,
 - · acts by public authorities,
 - industrial actions (subject to legal requirements),
 - · force majeure,
 - power shortages resulting from external events.

The voltage characteristics given in this standard are not intended to be used as electromagnetic compatibility (EMC) levels or user emission limits for conducted disturbances in public distribution systems.

The voltage characteristics given in this standard are not intended to be used to specify requirements in equipment product standards, but should be considered. It should be especially noted that the performance of equipment might be impaired if it is subjected to supply conditions which are not taken into account in the equipment product standard.

This standard may be superseded in total or in part by the terms of a contract between the individual customer and the electricity supplier.

Contents

1 General

1.1	Scope	
1.2	Object	
1.3	Definitions	
1.4	Normative references	

2 Low-voltage supply-characteristics

2.1	Power frequency	9
2.2	Magnitude of the supply voltage	9
2.3	Supply voltage variations	10
2.4	Rapid voltage changes	10
2.5	Supply voltage dips	10
2.6	Short interruptions of the supply voltage	11
2.7	Long interruptions of the supply voltage	11
2.8	Temporary power frequency overvoltages between	
	live conductors and earth	11
2.9	Transient overvoltages between live conductors and earth	11
2.10	Supply voltage unbalance	12
2.11	Harmonic voltage	12
2.12	Interharmonic voltage	12
2.13	Mains signalling voltage on the supply voltage	13

3 Medium-voltage supply-characteristics

3.1	Power frequency	13
3.2	Magnitude of the supply voltage	14
3.3	Supply voltage changes	14
3.4	Rapid voltage changes	14
3.5	Supply voltage dips	14
3.6	Short interruptions of the supply voltage	14
3.7	Long interruptions of the supply voltage	15
3.8	Temporary power frequency overvoltages between live conductors and earth	. 15
3.9	Transient overvoltages between live conductors and earth	15
3.10	Supply voltage unbalance	15
3.11	Harmonic voltage	15
3.12	Interharmonic voltage	16
3.13	Mains signalling voltage on the supply voltage	17

Page 2 EN 50160:1999

Foreword

This European Standard was prepared by the CENELEC BTTF 68-6, Physical characteristics of electrical energy. The text of the draft was submitted to the Unique Acceptance Procedure and was approved by CENELEC as EN 50160 on 1994-07-05.

Three drafts for amendments (prAA, prAB, prAC) were submitted to the CENELEC formal vote and were approved by CENELEC on 1999-01-01 for inclusion into a second edition of EN 50160.

This European Standard replaces EN 50160:1994.

The following dates were fixed:

 latest date by which the EN has to be implemented at national level by publication of an identical national standard or by endorsement

(dop) 2000-05-01

 latest date by which the national standards conflicting with the EN have to be withdrawn

(dow) 2000-05-01

12

Annexes designated "informative" are given for information only. In this standard, annex A is informative.

EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE

EN 50160

EUROPÄISCHE NORM

November 1999

ICS 29.020

Supersedes EN 50160:1994

English version

Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems

Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen

This European Standard was approved by CENELEC on 1999-01-01. CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CENELEC member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CENELEC members are the national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

CENELEC

European Committee for Electrotechnical Standardization Comité Européen de Normalisation Electrotechnique Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 35, B - 1050 Brussels

© 1999 CENELEC - All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CENELEC members.

Ref: No. EN 50160:1999 E



Nederlands voorwoord

Voor de in deze norm vermelde normatieve verwijzingen bestaan in Nederland de volgende equivalenten:

Vermelde norm	Nederlandse norm	Titel
EN 50065-1:1991	NEN-EN 50065-1:1994	Besturing via laagspanningsinstallaties in het frequentiegebied 3 kHz tot 148,5 kHz - Deel 1: Algemene eisen, frequentiebanden en elektromagnetische storingen (en)
EN 50065-	NEN-EN 50065-	Besturing via laagspanningsinstallaties in het
1:1991/A1:1992	1:1994/A1.1994	frequentiegebied 3 kHz tot 148,5 kHz - Deel 1: Algemene eisen, frequentiebanden en elektromagnetische storingen (en)
EN 60555-1:1987	NEN 10555-1:1988	Netvervuiling veroorzaakt door huishoudelijke en soortgelijke elektrische apparatuur - Deel 1: Termen en definities (en,fr)
EN 60868:1993	-	•
EN 61000-4-7:1993	NEN 11000-4-7:1993	Elektromagnetische compatibiliteit (EMC) - Deel 4: Beproevingen en meettechnieken - Sectie 7: Algemene leidraad voor het meten, en de meetapparatuur, van harmonischen en tussenharmonischen in elektriciteitsnetten en daaraan aangesloten apparatuur (en.fr)
ENV 61000-2-2:1993	NVN 11000-2-2:1993	Elektromagnetische compatibiliteit (EMC) - Deel 2: Compatibiliteitsniveau's voor laagfrequente geleide storingen en signaaloverdrachten in openbare laagspanningsnetten (en.fr)
HD 472 S1:1989		-
IEC 60050-161:1990	NEN 10050-161:1991	Internationale elektrotechnische woordenlijst - Hoofdstuk 161: Elektromagnetische compatibiliteit (en,fr,ru)

Als Nederlandse norm is aanvaard: - EN 50160:1999,IDT

Nederlands Elektrotechnisch Comité (NEC) Normcommissie NEC "EMC 1"

Apart from exceptions provided by the law, nothing from this publication may be duplicated and/or published by means of photocopy, microfilm, storage in computer files or otherwise, which also applies to full or partial processing, without, the written consent of the Netherlands Standards Institute

The Netherlands Standards Institute shall with the exclusion of any other beneficiary collect payments owed by third parties for duplication and/or act in and out of law, where this authority is not transferred or falls by right to the Reproduction rights Foundation

Auteursrecht voorbehouden Behoudens uitzondering door de wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van het Nederlands Normalisatie-instituut niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van fotokopie, microfilm, opslag in computerbestanden of anderszijns, hetgeen ook van toepassing Is op gehele of gedeeltelijke bewerking

Het Nederlands Normalisatie-instituut is met uitsluiting van ieder ander gerechtigd de door derden verschuldigde vergoedingen voor verveelvoudiging te innen en/of daartoe in en buiten rechte op te treden, voor zover deze bevoegdheid niet is overgedragen c.q. rechtens toekomt aan de Stichting Reprorecht.



Nederlands Normalisatie-instituut

Although the utmost care has been taken with this publication, errors and omissions cannot be entirely excluded. The Netherlands Standards Institute and/or the members of the commissions therefore accept no liability, not even for direct or indirect damage, occurring due to or in relation with the application of publications put out by the Netherlands Standards Institute

B

Hoewel bij deze uitgave de uiterste zorg is nagestreefd, kunnen fouten en onvolledigheden niet geheel worden uitgesloten Het Nederlands Normallsatie-instituut en/of de leden van de commissies aanvaarden derhalve geen enkele aansprakelijkheid, ook niet voor directe of indirecte schade, onstaan door of verband houdende met toepassing van door het Nederlands Normalisatie-instituut gepubliceerde uitgaven

©1999 Nederlands Normalisatie-instituut Kalifieslaan 2, Postbus 5059, 2600 GB Delft Telefoon (015) 2 690 390, Fax (015) 2 690 190





ตารางซีเคว้นซ์อิมพีแดนซ์ของสายส่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค																
Line Parameter	Line Parameters in p.u.: Sbase=100 MVA, Vbsae=115 kV,Zbase=132.25 Ohms Line Parameters															
Bbase=7561.4 mSkm																
FIGURE	LINE TYPE	LINEANNO	CONFIG	DBL	MATL	NEUT_MATL	POS_RES	POS_REAC	POS_CAP	ZERO_RES	ZERO_REAC	ZERO_CAP	VOLT	AMPS	SIZE	Rate_A
							p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	kV		sq.mm	MVA/per circuit
3 <u>15</u> m	1A	115VSS185	VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001333958	0.002588673	0.000397824	0.002746382	0.010553043	0.000198661	115	520	185	103.51
	1B	115VSS240	VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001022344	0.002520605	0.000407564	0.002434767	0.010484991	0.000201054	115	625	240	124.42
-120m -	1C	115VSS400	VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.00064885	0.002737543	0.000425356	0.001927032	0.010754631	0.000204816	115	855	400	170.20
, <u>335</u> m	2A	115TSS185	TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001333611	0.002653928	0.000387069	0.002779123	0.010412703	0.00020444	115	520	185	103.51
250m T	2B	115TSS240	TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001021996	0.002585898	0.000396265	0.002467509	0.01034465	0.000206971	115	625	240	124.42
	2C	115TSS400	TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.000648597	0.002802798	0.000413017	0.001944272	0.010618526	0.000210767	115	855	400	170.20
3.40 m.	3A	115VSD185	VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000667304	0.001949157	0.000545575	0.00207972	0.009913497	0.00022964	115	1,040.00	185	207.03
2.50 m. 2.50 m.	3B	115VSD240	VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000511493	0.001915146	0.000554711	0.001923917	0.009879471	0.000231238	115	1,250.00	240	248.83
−1 2.0 m. 1 −	3C	115VSD400	VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000324658	0.002024197	0.000570738	0.00176414	0.010052174	0.000233368	115	1,710.00	400	340.40
3.60 m.	4A	115TSD185	TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000666949	clclc	0.000525051	0.002112461	0.009773157	0.00023728	115	1,040.00	185	207.03
2.50 m.	4B	115TSD240	TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000511146	0.001980401	0.000533474	0.00195665	0.009739206	0.000238978	115	1,250.00	240	248.83
₩2 .0 m.12.0 m. 🛏	4C	115TSD400	TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000324454	0.002088847	0.000548361	0.001630548	0.009918336	0.000240338	115	1,710.00	400	340.40
3.15 m	5A	115VDS185	VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.001334594	0.002715312	0.000384259	0.00415944	0.01792462	0.000142998	115	520	185	207.03
2.50 m. 2.50 m. T	5B	115VDS240	VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.001022979	0.002647282	0.000393382	0.003847826	0.017855206	0.00014424	115	625	240	248.83
-d20m ₽0m ►	5C	115VDS400	VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.00064887	0.002737618	0.000426348	0.003194011	0.01776673	0.000124489	115	855	400	340.40
3.40 m.	6A	115VDD185	VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.00066794	0.002075796	0.000521526	0.003492779	0.017283713	0.000158488	115	1,040.00	185	207.03
2.50 m. 2.50 m. 2.50 m.	6B	115VDD240	VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.000512129	0.002041784	0.000529937	0.003336975	0.017249686	0.000159255	115	1,250.00	240	248.83
-42.0 m.l2.0 m. k -	6C	115VDD400	VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.000324673	0.002024121	0.00057286	0.001614518	0.010051418	0.000318723	115	1,710.00	400	340.40

Note

1A,2A,3A,4A,5A and 6A use Standard SB2-015/36032 Rated AMPS use S02-015/20019

1B,2B,3B,4B,5B and 6B use Standard SB2-015/36032

SYSTEM PLANNING DEPARTMENT POWER SYSTEM PLANNING DIVISION

Line Parameters in Physical Units: [R & X]=Ohms/circuit/km							8								
[G & B]=mkSm/	/circuit/km														
IGURE	LINE TYPE	LINEANNO CON	FIG DBL	MATL	NEUT_MATL	POS_RES	POS_REAC	POS_CAP	ZERO_RES	ERO_REA	ZERO_CAI	VOLT	AMPS	SIZE	Rate_A
						p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	u./circuit/k	u./circuit/k	kV	/per ckt	sq.mm	MVA/per circuit
315m	1A	115VSS185 VERT	ГОН S/S	AA/SC	035-ST	0.176416	0.342352	0.363209	1.39564	3.00812	1.50216	115	460	185	91.5699
250m	1B	115VSS240 VERT	TOH S/S	AA/SC	035-ST	0.135205	0.33335	0.321998	1.38664	3.08177	1.52026	115	544	240	108.29136
	1C	115VSS400 VERT	TOH S/S	AA/SC	035-ST	0.085214	0.318503	0.272606	1.37179	3.21673	1.55233	115	804	400	160.04826
335 m	2A	115TSS185 TRI	OH S/S	AA/SC	035-ST	0.17637	0.350982	0.367539	1.37708	2.9268	1.54586	115	460	185	91.5699
	2B	115TSS240 TRI	OH S/S	AA/SC	035-ST	0.135159	0.341985	0.326328	1.36808	2.99633	1.565	115	544	240	108.29136
 ¥20m 120m ┣	2C	115TSS400 TRI	OH S/S	AA/SC	035-ST	0.08576	0.327133	0.276936	1.35323	3.12348	1.59891	115	804	400	160.04826
3.40 m.	3A	115VSD185 VER7	TOH S/D	AA/BC	035-ST	0.088251	0.257776	0.245043	1.31106	4.12533	1.73641	115	920	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m.	3B	115VSD240 VERT	TOH S/D	AA/BC	035-ST	0.067645	0.253278	0.254438	1.30656	4.19441	1.74849	115	1,088.00	240	216.58272
→2.0 m.)—	3C	115VSD400 VERT	ГОН S/D	AA/BC	035-ST	0.042949	0.245852	0.229742	1.29914	4.31835	1.7696	115	1,608.00	400	320.09652
3.60 m.	4A	115TSD185 TRI	OH S/D	AA/BC	035-ST	0.088204	0.266407	0.279373	1.2925	3.97014	1.79418	115	920.00	185	183.1398
	4B	115TSD240 TRI	OH S/D	AA/BC	035-ST	0.067599	0.261908	0.258767	1.28801	4.03383	1.80702	115	1,088.00	240	216.58272
- #2.0 m.12.0 m.1 −	4C	115TSD400 TRI	OH S/D	AA/BC	035-ST	0.042903	0.254482	0.234071	1.28058	4.14787	1.82947	115	1,608.00	400	320.09652
3.15 m.	5A	115VDS185 VERT	TOH D/S	AA/SC	035-ST	0.1765	0.3591	0.550086	2.370531	2.90555	1.081272	115	920.00	185	183.1398
250 m. 250 m. T	5B	115VDS240 VERT	TOH D/S	AA/SC	035-ST	0.135289	0.350103	0.508875	2.361351	2.974535	1.09066	115	1,088.00	240	216.58272
-1 20m ₽0m ⊨	5C	115VDS400 VERT	TOH D/S	AA/SC	035-ST	0.085898	0.335251	0.459483	2.346501	3.100749	1.107151	115	1,609.00	400	320.09652
3.40 m.	6A	115VDD185 VERT	TOH D/D	AA/BC	035-ST	0.088335	0.274524	0.46192	2.285771	3.943486	1.198395	115	920.00	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m. 2.50 m.	6B	115VDD240 VER7	TOH D/D	AA/BC	035-ST	0.067729	0.270026	0.441315	2.281271	4.007088	1.204195	115	1,088.00	240	216.58272
	6C	115VDD400 VER7	TOH D/D	AA/BC	035-ST	0.043033	0.2626	0.416619	2.273851	4.121058	1.21427	115	1,608.00	400	320.09652

Line Parameters in p.u.: Sbase=100 MVA, Vbsae=115 kV,Zbase=132.25 Ohms							Line Par	ameters							
Bbase=7561.4 mS	Skm														
FIGURE	LINE TYPE	E LINEANNO CONFIG	DBL	MATL	NEUT_MATL	POS_RES	POS_REAC	POS_CAP	ZERO_RES	ZERO_REAC	ZERO_CAP	VOLT	AMPS	SIZE	Rate_A
						p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	kV		sq.mm	MVA/per circuit
315m	1A	115VSS185 VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001333958	0.002588673	0.000397824	0.002746382	0.010553043	0.000198661	115	460	185	91.5699
250m	1B	115VSS240 VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001022344	0.002520605	0.000407564	0.002434767	0.010484991	0.000201054	115	544	240	108.29136
-420m 🕨	1C	115VSS400 VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.00064434	0.00240834	0.000425413	0.002061293	0.010372703	0.000205296	115	804	400	160.04826
336m	2A	115TSS185 TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001333611	0.002653928	0.000387069	0.002779123	0.010412703	0.00020444	115	460	185	91.5699
2.50m	2B	115TSS240 TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.001021996	0.002585898	0.000396265	0.002467509	0.01034465	0.000206971	115	544	240	108.29136
	2C	115TSS400 TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.000648469	0.002473595	0.00041308	0.002094034	0.010232363	0.000211456	115	804	400	160.04826
3.40 m.	3A	115VSD185 VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000667304	0.001949157	0.000545575	0.00207972	0.009913497	0.00022964	115	920	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m.	3B	115VSD240 VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000511493	0.001915146	0.000554711	0.001923917	0.009879471	0.000231238	115	1,088.00	240	216.58272
→2.0 m.)—	3C	115VSD400 VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000324756	0.001858994	0.000571102	0.00173718	0.009823365	0.00023405	115	1,608.00	400	320.09652
3.60 m.	4A	115TSD185 TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000666949	0.00201442	0.000525051	0.002112461	0.009773157	0.00023728	115	920.00	185	183.1398
2.50 m.	4B	115TSD240 TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000511146	0.001980401	0.000533474	0.00195665	0.009739206	0.000238978	115	1,088.00	240	216.58272
	4C	115TSD400 TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000324408	0.00192425	0.000548556	0.001769913	0.009683025	0.000241947	115	1,608.00	400	320.09652
3.15 m.	5A	115VDS185 VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.001334594	0.002715312	0.000384259	S 0.00415944	0.01792462	0.000142998	115	920.00	185	183.1398
250 m. 250 m.	5B	115VDS240 VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.001022979	0.002647282	0.000393382	0.003847826	0.017855206	0.00014424	115	1,088.00	240	216.58272
-€20m £0m ⊨	5C	115VDS400 VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.000649512	0.002534979	0.000410074	0.003474352	0.017742919	0.000146421	115	1,609.00	400	320.09652
3.40 m.	6A	115VDD185 VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.00066794	0.002075796	0.000521526	0.003492779	0.017283713	0.000158488	115	920.00	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m.	6B	115VDD240 VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.000512129	0.002041784	0.000529937	0.003336975	0.017249686	0.000159255	115	1,088.00	240	216.58272
-42.0 m.l2.0 m.k−	6C	115VDD400 VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.000325391	0.001985633	0.00054501	0.003150238	0.01719358	0.000160587	115	1,608.00	400	320.09652

Line Parameters in Physical Units: [R & X]=Ohms/circuit/km					Line Parameters										
[G & B]=mkSm	/circuit/km														
FIGURE	LINE TYPE	E LINEANNO CONFIG	DBL	MATL	NEUT_MATL	POS_RES	POS_REAC	POS_CAP	ZERO_RES	ERO_REA	ZERO_CAI	VOLT	AMPS	SIZE	Rate_A
						p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	u./circuit/k	u./circuit/k	kV	/per ckt	sq.mm	MVA/per circuit
315m	1A	115VSS185 VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.176416	0.342352	0.363209	1.39564	3.00812	1.50216	115	460	185	91.5699
250m 250m T	1B	115VSS240 VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.135205	0.33335	0.321998	1.38664	3.08177	1.52026	115	544	240	108.29136
	1C	115VSS400 VERTOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.085214	0.318503	0.272606	1.37179	3.21673	1.55233	115	804	400	160.04826
3 <u>35</u> m	2A	115TSS185 TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.17637	0.350982	0.367539	1.37708	2.9268	1.54586	115	460	185	91.5699
^{250m}	2B	115TSS240 TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.135159	0.341985	0.326328	1.36808	2.99633	1.565	115	544	240	108.29136
	2C	115TSS400 TRIOH	S/S	AA/SC	035-ST	0.08576	0.327133	0.276936	1.35323	3.12348	1.59891	115	804	400	160.04826
3.40 m	3A	115VSD185 VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.088251	0.257776	0.245043	1.31106	4.12533	1.73641	115	920	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m. • T	3B	115VSD240 VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.067645	0.253278	0.254438	1.30656	4.19441	1.74849	115	1,088.00	240	216.58272
	3C	115VSD400 VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.042949	0.245852	0.229742	1.29914	4.31835	1.7696	115	1,608.00	400	320.09652
3.60 m.	4A	115TSD185 TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.088204	0.266407	0.279373	1.2925	3.97014	1.79418	115	920.00	185	183.1398
2.50 m.	4B	115TSD240 TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.067599	0.261908	0.258767	1.28801	4.03383	1.80702	115	1,088.00	240	216.58272
-1 2.0 m. 12.0 m. 1 -	4C	115TSD400 TRIOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.042903	0.254482	0.234071	1.28058	4.14787	1.82947	115	1,608.00	400	320.09652
3.15 m.	5A	115VDS185 VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.1765	0.3591	0.550086	2.370531	2.90555	1.081272	115	920.00	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m. T	5B	115VDS240 VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.135289	0.350103	0.508875	2.361351	2.974535	1.09066	115	1,088.00	240	216.58272
-120m £0m ⊨-	5C	115VDS400 VERTOH	D/S	AA/SC	035-ST	0.085898	0.335251	0.459483	2.346501	3.100749	1.107151	115	1,609.00	400	320.09652
, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	6A	115VDD185 VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.088335	0.274524	0.46192	2.285771	3.943486	1.198395	115	920.00	185	183.1398
2.50 m. 2.50 m. 2.50 m.	6B	115VDD240 VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.067729	0.270026	0.441315	2.281271	4.007088	1.204195	115	1,088.00	240	216.58272
■{2.0 m.]2.0 m.]==	6C	115VDD400 VERTOH	D/D	AA/BC	035-ST	0.043033	0.2626	0.416619	2.273851	4.121058	1.21427	115	1,608.00	400	320.09652

Area	1	2		
Speed Regulation	$R_1 = 0.05$	$R_2 = 0.0625$		
Frequency-sens. Load Coeff	$D_1 = 0.6$	D ₂ =0.9		
Inertia Constant	$H_1 = 5$	$H_2 = 4$		
Base Power	1000 MVA	1000 MVA		
Governor Time Constant	$\tau_{g1} = 0.2 \text{ sec}$	$\tau_{g2} = 0.3 \text{ sec}$		
Turbine Time Constant	$\tau_{T1} = 0.5 \text{ sec}$	$\tau_{T2} = 0.6 \text{ sec}$		

ตารางที่ ข.1 ค่าพารามิเตอร์ทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิดระหว่างพื้นที่กรณีที่1

ตารางที่ ข.2 ค่าพารามิเตอร์ทคสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิดระหว่างพื้นที่กรณีที่2

Area	1	2
Speed Regulation	$R_1 = 0.05$	$R_2 = 0.05$
Frequency-sens. Load Coeff	$D_1 = 0.6$	$D_2 = 0.6$
Inertia Constant	$H_1 = 5$	$H_2 = 5$
Base Power	400 MVA	400 MVA
Governor Time Constant	$\tau_{g1} = 0.2 \text{ sec}$	$\tau_{g2} = 0.2 \text{ sec}$
Turbine Time Constant	$\tau_{T1} = 0.5 \text{ sec}$	$\tau_{T2} = 0.5 \text{ sec}$

ตารางที่ ข.3 ค่าพารามิเตอร์ทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องกำเนิดระหว่างพื้นที่กรณีที่3

Area	1	2
Speed Regulation	$R_1 = 0.05$	$R_2 = 0.0625$
Frequency-sens. Load Coeff	$D_1 = 0.6$	D ₂ =0.9
Inertia Constant	$H_1 = 5$	$H_2 = 4$
Base Power	400 MVA	400 MVA
Governor Time Constant	$\tau_{g1} = 0.2 \text{ sec}$	$\tau_{g2} = 0.3 \text{ sec}$
Turbine Time Constant	$\tau_{T1} = 0.5 \text{ sec}$	$\tau_{T2} = 0.6 \text{ sec}$

ตารางที่ ข.4 พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบการชดเชยการแกว่งแบบ Local

PI	ant Mode	
	Gain	Time constant
Turbine	$K_T = 1$	$\tau_T = 0.5$
Governer	$K_g = 1$	$\tau_g = 0.2$
Amplifier	<i>K</i> _A =10	$\tau_{A} = 0.1$
Exciter	$K_E = 1$	$\tau_E = 0.4$
Generator	$K_{G} = 0.8$	τ_{g} =1.4
Sensor	$K_{R} = 1$	$K_{R} = 0.05$
Inertia	<i>H</i> =5	
Regulation	<i>R</i> =0.05	

ตารางที่ ข.5 ค่าเกณฑ์ชุดควบคุม PID ใช้ทดสอบการชดเชยการแกว่งแบบ Local Plant Mode

Р	Ι	D
1	0.25	0.3

ตารางที่ ข.6 ค่า ตารางซีเคว้นซ์อิมพีแคนซ์ของสายส่งระบบ 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Line Parameters in p.u.: Sbase=100 MVA, Vbsae=115 kV ,Zbase=132.25 Ohms ,Bbase=7561.4 mSkm									
FIGURE	LINE TYPE	LINEANNO	CONFIG	DBL	MATL	NEUT_MATL	POS_RES	POS_REAC	
3.40 m.		J.M	Č.			S.	p.u./circuit/km	p.u./circuit/km	
2.50 m. 2.50 m. 2.50 m.	3A	115VSD185	VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000667304	0.001949157	
→ 2.0 m. ⊨	3В	115VSD240	VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000511493	0.001915146	
3C	3C	115VSD400	VERTOH	S/D	AA/BC	035-ST	0.000324658	0.002024197	


รายละเอียดการสร้างแบบจำลองใน MATLAB/SIMULINK

การทดสอบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ (Inter Area Mode) แบบจำลองการแกว่งระหว่างพื้นที่กรณีที่ 1



รูปที่ ค.2 SIMULINK แบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 2

1.3 แบบจำลองการแกว่งระหว่างพื้นที่กรณีที่ 3



รูปที่ ค.3 SIMULINK แบบจำลองการแกว่งของกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 3

 ชดเชยความถี่ในแบบ Local Plant Mode โดยใช้ชุดควบคุม Automatic Voltage Regulator, AVR พร้อมชุดควบคุม PID



รูปที่ ค.4 SIMULINK แบบชุคชคเชยความถี่ด้วยชุคควบคุม AVR พร้อมชุคควบคุม PID

3. การเขียนโปรแกรมผลการตอบสนองความถี่ของการแกว่งในแบบ Local Plant Mode

a=0.3; %R+iX b=0.2; %Xtr c=0.3; %Xd f = (a*a) / (a+a);%Z(Line1//Line2) zt=b+c+f;%Zt system X=abs(zt); Pm=0.6; %The generator is delivering real power pf=0.8; %Power factor 0.85 lagging S=(Pm/pf)*exp(0.85i); %Apparent power v=1+0i;%Infinite Voltages V=abs(v); I=conj(S)/conj(v); e =V+zt*I; E=abs(e); %Generator Voltage H=9.94;%Moment Inertia D=0.138; $f_{0=60}$; Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax) %Max Power %Synchronizing power coefficient Ps=Pmax*cos(d0)%undamped frequency of oscillation wn=sqrt(pi*50/H*Ps) z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps)) %damped ratio wd=wn*sqrt(1-z^2),fd=wd/(2*pi %damped frequency oscillation tau=1/(z*wn)%Time constant th=acos(z)%Phase angle theta Dd0=10*pi/180; t=0:.01:4; $Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);$ d=(d0+Dd)*180/pi; %Power angle in degree $Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);$ f=f0+Dw/(2*pi); %Frequency in Hz subplot(2,1,1),plot(t,d),grid xlabel('t sec'),ylabel('delta degree') subplot(2,1,2),plot(t,f),grid xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz') subplot(111) hold on 3.2 M-File การทดสอบการแกว่งกำลังกรณีที่ 2 b=0+0.2i; %Xtr %Xd c=0+0.3i; zt=b+c; %Zt system X=abs(zt); Pm=0.6; %The generator is delivering real power %Power factor 0.85 lagging pf=0.8; S=(0.6/pf)*exp(0.8i); %Apparent power v=1+0i; %Infinite Voltages V=abs(v); I=conj(S)/conj(v); e =V+zt*I; E=abs(e);%Generator Voltage H=9.94; %Moment Inertia D=0.138; $f_{0=60}$; Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax) %Max Power Ps=Pmax*cos(d0)%Synchronizing power coefficient z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps)) %damped ratio wd=wn*sqrt(1-z^2),fd=wd/(2*pi) %damped frequency oscillation

3.1 M-File การทดสอบการแกว่งกำลังกรณีที่ 1

```
tau=1/(z*wn)
                                %Time constant
th=acos(z)
                                %Phase angle theta
Dd0=10*pi/180;
t=0:.01:9;
Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);
d=(d0+Dd)*180/pi;
                                %Power angle in degree
Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);
f=f0+Dw/(2*pi);
                                %Frequency in Hz
subplot(2,1,1),plot(t,d),grid
xlabel('t sec'),ylabel('delta
                                degree')
subplot(2,1,2),plot(t,f),grid
xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz')
subplot(111)
hold on
      3.3 M-File การทดสอบการแกว่งกำลังกรณีที่ 3
a=0.000324658+0.002024197i;
                                %R+jX
b=0+0.08i;
                                %Xtr
c=0+0.26i;
                                %Xd
d=29.7*a;
                                %Line1 input distant....Km
e=21.45*a;
                                %Line2 input distant....Km
                                %Z(Line1//Line2)
f=(d*e)/(d+e);
zt=b+c+f;
                                %Zt system
X=abs(zt);
                                %The generator is delivering real power
Pm=0.9;
pf=0.85;
                                %Power factor 0.85 lagging
S=(0.9/pf)*exp(0.85i);
                                %Apparent power
                                %Infinite Voltages
v=1+0i;
V = abs(v);
I=conj(S)/conj(v);
e = V + z + *T;
                                %Generator Voltage
E = abs(e);
H=5;
                                %Moment Inertia
Pm=0.9;
D=0.138;
f0=50;
Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax)
                                %Max Power
                                %Synchronizing power coefficient
Ps=Pmax*cos(d0)
                                %undamped frequency of oscillation
wn=sqrt(pi*50/H*Ps)
                                %damped ratio
z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps))
wd=wn*sqrt(1-z^2),fd=wd/(2*pi) %damped frequency oscillation
tau=1/(z*wn)
                                %Time constant
th=acos(z)
                                %Phase angle theta
Dd0=10*pi/180;
t=0:.01:9;
Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);
d=(d0+Dd)*180/pi;
                                %Power angle in degree
Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);
f=f0+Dw/(2*pi);
                                %Frequency in Hz
subplot(2,1,1),plot(t,d),grid
xlabel('t sec'),ylabel('delta
                                degree')
subplot(2,1,2),plot(t,f),qrid
xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz')
subplot(111)
hold on
      3.4 M-File การทดสอบการแกว่งกำลังกรณีที่ 4
```

b=0+0.08i;	%Xt	
c=0+0.26i;	%Xd	
zt=b+c;	%Zt	system

```
X=abs(zt);
Pm=0.9;
                                %The generator is delivering real power
pf=0.85;
                                %Power factor 0.86 lagging
S=(0.9/pf)*exp(0.85i);
                                %Apparent power
v=1+0i;
V=abs(v);
I=conj(S)/conj(v);
e =V+zt*I;
E=abs(e);
                                 %Egenerator
H=5;
Pm=0.9;
D=0.138;
f_{0=50};
Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax)
                                  %Max Power
Ps=Pmax*cos(d0)
                                  %Synchronizing power coefficient
wn=sqrt(pi*50/H*Ps)
                                  %undamped frequency of oscillation
z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps))
                                  %damped ratio
wd=wn*sqrt(1-z^2), fd=wd/(2*pi)
                                 %damped frequency oscillation
tau=1/(z*wn)
                                  %Time constant
th=acos(z)
                                  %Phase angle theta
Dd0=10*pi/180;
t=0:.01:9;
Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);
d=(d0+Dd)*180/pi;
                                 %Power angle in degree
Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);
f=f0+Dw/(2*pi);
                                 %Frequency in Hz
subplot(2,1,1),plot(t,d),grid
xlabel('t sec'),ylabel('delta degree')
subplot(2,1,2),plot(t,f),grid
xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz')
subplot(111)
hold on
      3.5 M-File การทดสอบการแกว่งกำลังกรณีที่ 5
a=0.000324658+0.002024197i;
                                 %R+jX
b=0+0.08i;
                                 %Xtr
c=0+0.26i;
                                %Xd
d=29.7*a;
                                %Line1 input distant....Km
e=21.45*a;
                                %Line2 input distant....Km
f = (d*e) / (d+e);
                                %Z(Line1//Line2)
                                %Zt system
zt=b+c+f;
X = abs(zt);
                                 %The generator is delivering real power
Pm=0.9;
pf=0.85;
                                %Power factor 0.85 lagging
S=(0.9/pf)*exp(0.85i);
                                %Apparent power
                                %Infinite Voltages
v=1+0i;
V=abs(v);
I=conj(S)/conj(v);
e =V+zt*I;
E=abs(e);
                                %Generator Voltage
H=5;
                                %Moment Inertia (5,9,12 and 20 MJ/MVA)
Pm=0.9;
D=0.138;
f_{0=50};
Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax)
                                %Max Power
Ps=Pmax*cos(d0)
                                 %Synchronizing power coefficient
wn=sqrt(pi*50/H*Ps)
                                %undamped frequency of oscillation
z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps))
                                %damped ratio
wd=wn*sqrt(1-z^2),fd=wd/(2*pi) %damped frequency oscillation
tau=1/(z*wn)
                                %Time constant
```

```
th=acos(z)
                               %Phase angle theta
Dd0=10*pi/180;
t=0:.01:9;
Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);
d=(d0+Dd)*180/pi;
                              %Power angle in degree
Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);
f=f0+Dw/(2*pi);
                               %Frequency in Hz
subplot(2,1,1),plot(t,d),grid
xlabel('t sec'),ylabel('delta
                               degree')
subplot(2,1,2),plot(t,f),grid
xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz')
subplot(111)
hold on
```

4. การเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและความถี่ที่การเปลี่ยนแปลงระหว่างพื้นที่

4.1 กำลังไฟฟ้าเริ่มต้น (G1) เมื่อต่อเชื่อมสายสงระบบ 115 เควี กฟภ.กับบริษัทปทุมโคเจน

```
a=0.000324658+0.002024197i;
                               %R+jX(p.u)
b=0+0.08i;
                               %Xt(p.u)
c=0+0.26i;
                               %Xd(p.u)
d=16.64*a;
                               %Line1 (2YB-01)input distant....Km
zt=b+c+d;
                               %Zt system
X=abs(zt);
                               %The generator is delivering real power
pf=0.85;
                               %Power factor 0.85 lagging
S=(0.9/pf)*exp(0.85i);
                               %Apparent power
                               %Infinite Voltage
v=1+0i;
V = abs(v);
I=conj(S)/conj(v);
                               %Generator Voltage
e =V+zt*I;
E = abs(e);
                               %Moment Inertia
D=0.138;
f0=50;
                               %Max Power
Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax)
                               Synchronizing power coefficient
Ps=Pmax*cos(d0)
                               %undamped frequency of oscillation
wn=sqrt(pi*50/H*Ps)
z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps))
                               %damped ratio
wd=wn*sqrt(1-z^2),fd=wd/(2*pi) %damped frequency oscillation
tau=1/(z*wn)
                               %Time constant
th=acos(z)
                               %Phase angle theta
Dd0=10*pi/180;
t=0:.01:9;
Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);
                               %Power angle in degree
d=(d0+Dd)*180/pi;
Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);
f=f0+Dw/(2*pi);
                               %Frequency in Hz
subplot(2,1,1),plot(t,d),grid
xlabel('t sec'),ylabel('delta
                               degree')
subplot(2,1,2),plot(t,f),grid
xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz')
subplot(111)
```

```
hold on
```

4.2 กำลังไฟฟ้าเริ่ม (G2) ต่อเชื่อมสายสงระบบ 115 เควี กฟภ.กับบริษัทบีกริมจอยน์เวนเจอร์

```
a=0.000324658+0.002024197i; % R+jX(p.u)
b=0+0.08i; % Xt(p.u)
c=0+0.26i; % Xd(p.u)
d=1.0*a; %Linel (2YB-01)input distant....Km
zt=b+c+d; %Zt system
X=abs(zt);
Pm=0.9; %The generator is delivering real power
```

```
pf=0.85;
                              %Power factor 0.85 lagging
S=(0.9/pf)*exp(0.85i);
                              %Apparent power
v=1+0i;
                              %Infinine Voltage
V=abs(v);
I=conj(S)/conj(v);
e =V+zt*I;
                              %Generator Voltage
E=abs(e);
                              %Moment inertia
H=5;
D=0.138;
f0=50;
Pmax=E*V/X,d0= asin(Pm/Pmax) %Max Power
Ps=Pmax*cos(d0)
                              %Synchronizing power coefficient
wn=sqrt(pi*50/H*Ps)
                             %undamped frequency of oscillation
z=D/2*sqrt(pi*50/(H*Ps))
                            %damped ratio
wd=wn*sqrt(1-z^2),fd=wd/(2*pi)%damped frequency oscillation
tau=1/(z*wn)
                              %Time constant
th=acos(z)
                              %Phase angle theta
Dd0=10*pi/180;
t=0:.01:9;
Dd=Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t+th);
d=(d0+Dd)*180/pi;
                             %Power angle in degree
Dw=-wn*Dd0/sqrt(1-z^2)*exp(-z*wn*t).*sin(wd*t);
f=f0+Dw/(2*pi);
                              %Frequency in Hz
subplot(2,1,1),plot(t,d),grid
xlabel('t sec'),ylabel('delta degree')
subplot(2,1,2),plot(t,f),grid
xlabel('t sec'),ylabel('Frequency Hz')
subplot(111)
hold on
```

4.3 M-File การหาค่ากำลังไฟฟ้าและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างพื้นที่กรณีที่ 1 และ

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบได้ดัง ตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข

Load=187.5;	%Load change				
Base=1000;					
PL1=Load/Base;					
R1=0.05; 5					
R2=0.0625;					
D1=0.6;					
D2=0.9;					
Wss=-PL1/((1/R1+D1)+(1/R2+	-D2));				
fo=60;					
f=(Wss*60);	%delta freguency				
F=fo+f;	%new freguency				
<pre>Pm1=(Wss/R1)*Base;</pre>	%the change in mechanical	power	in	Area	1
Pm2=(Wss/R2)*Base;	%the change in mechanical	power	in	Area	2
PmA1=Wss*D1*Base;	%change in Areal				
PmA2=Wss*D2*Base;	%change in Area2				
PmTotal=PmA1+PmA2;	%change in TotalArea				
<pre>Pm12=Base*Wss*(1/R2+D2);</pre>	%the tie line power flow				

4.4 M-File การหาค่ากำลังไฟฟ้าและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างพื้นที่กรณีที่ 2 และ

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบได้ดังตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข

a=0.000324658+0.002024197i;	% Lineparamior p.u
xtG1=0+0.08i;	% XtGlp.u
xdG1=0+0.26i;	% XdG1p.u
xtG2=0+0.08i;	% XtG2p.u
xdG2=0+0.26i;	% XdG2p.u
Xtie=15.64*a;	% R+JX Between GlandG2Km

```
G1=1.3010 + 0.2568i;
                              % Eq1 connected Infinie Bus
G2=1.2723 + 0.2388i;
                              % Eq2 connected Infinie Bus
A1=angle(G1);
                              % angle (Radian)
A2=angle(G2);
                               % angle (Radian)
Load=100;
                               % Load change
Base=400;
                               % Base Power
                               % Load change p.u
PL1=Load/Base;
R1=0.05;
                               % Speed regulation p.u
R2=R1;
                                % Speed regulation p.u
D1=0.6;
                                % Frequency-sens.load coeff p.u
                                % Frequency-sens.load coeff p.u
D2=D1;
                                % internal frequency
f0=50;
Wss=-PL1/((1/R1+D1)+(1/R2+D2)); % the p.u steady-state frequency
                                % delta freguency
f=(Wss*50);
F=f0+f;
                                % new frequency
                                % Delta between A1 and A2
A=A1-A2;
Pm1=(Wss/R1)*Base;
                                % Delta mechanical power in Area 1
                               % Delta mechanical power in Area 2
Pm2=(Wss/R2)*Base;
PmA1=Wss*D1*Base;
                               % change in Areal
PmA2=Wss*D2*Base;
                               % change in Area2
PmTotal=Pm1+Pm2;
                               % change in TotalArea
P12=Base*Wss*((1/R2)+D2);
                               % the Delta tieline power flow
X1=xtG1+xdG1;
                               % R+JX1G1
                               % R+JX1G2
X2=xtG2+xdG2;
                                % Total Impedance in system
X12 = X1 + Xtie + X2;
x12=abs(X12);
E1=abs(G1);
E2=abs(G2);
ps=(E1*E2)/x12;
PS=ps*cos(A);
```

4.5 M-File การหาค่ากำลังไฟฟ้าและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างพื้นที่กรณีที่ 3 และ อ่าพารามิเตอร์ที่ให้ทอสอนได้ดังตารางที่ ๆ 3 ในอาจแบวอ ๆ

		0.3 1811 1910 8 111 0	
a=0 000324658+0	002024197i;	% Lineparamior	

a=0.000324658+0.0020241971, % Lineparat		Lineparamior p.u
xtGl=0+0.08i;		XtG1p.u
xdG1=0+0.26i;		XdG1p.u
xtG2=0+0.08i;		XtG2p.u
xdG2=0+0.26i; % XdG2p.u		XdG2p.u
Ktie=15.64*a; % R+JX Between GlandG2Km.		R+JX Between GlandG2Km.
G1=1.3010 + 0.2568i;	%	Eg1 connected Infinie Bus
G2=1.2723 + 0.2388i;		Eg2 connected Infinie Bus
Al=angle(G1); % angle (Radia		angle (Radian)
A2=angle(G2);	0/0	angle (Radian)
Load=100;	%	Load change
Base=400;	Base=400; % Base Power	
PL1=Load/Base; % Load change p.u		Load change p.u
R1=0.05;	R1=0.05; % Speed regulation p.u	
R2=0.0625; % Speed regulation p.u		Speed regulation p.u
D1=0.6; 8		Frequency-sens.load coeff p.u
D2=0.9;		Frequency-sens.load coeff p.u
f0=50;		internal frequency
Wss=-PL1/((1/R1+D1)+(1/R2+D2));	%	the p.u steady-state frequency
f=(Wss*50);		delta freguency
F=f0+f;		new freguency
A=A1-A2;		Delta between A1 and A2
<pre>Pml=(Wss/R1)*Base;</pre>		changing in mechanical power inArea1
Pm2=(Wss/R2)*Base; 8		changing in mechanical power inArea2
PmA1=Wss*D1*Base;		change in Areal
PmA2=Wss*D2*Base; %		change in Area2
<pre>PmTotal=(Pm1)+(Pm2);</pre>		change in TotalArea

- P12= Base*Wss*((1/R2)+D2); X1=xtG1+xdG1; X2=xtG2+xdG2; X12= X1+Xtie+X2; x12=abs(X12); E1=abs(G1); E2=abs(G2); ps=(E1*E2)/x12; PS=ps*cos(A);
- % the Delta tieline power flow
- % R+JX1G1
- % R+JX1G2
- % Total Impedance in system









บทความสาขาไฟฟ้ากำลัง (PW)

PW-H			
PW39	HVDC Controlled of Wind Farm Generator using Fuzzy Controller	Abstract	Full Paper
PW40	Fuzzy Multi-Objective Optimal Power Dispatch Considering System Operating Cost and Emissions Objectives	Abstract	Full Paper
PW41	การกำหนดดำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยวิธีเชิงกำหนด	Abstract	Full Paper
PW42	การปรับตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมในหลายระดับโหลดสำหรับลดกำลังสูญเสียในระบบส่งกำลังไฟฟ้า	Abstract	Full Paper
PW43	ผลกระทบของการจัดวางดำแหน่งเครื่องวัดที่มีต่อความแม่นยำของการประมาณก่าสถานะระบบให้ฟ้ากำลัง	Abstract	Full Paper
PW44	วงจรกรองกำลังแอคทีฟหนึ่งเฟสที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยหลักการโครงข่ายประสาทเทียม	Abstract	Full Paper
PW-I			
PW45	วงจรกรองกำลังแอคทีฟหนึ่งเฟสที่ใช้หลักการครวจจับกระแสแหล่งจ่ายโดยใช้สัญญาณไขน์เทียบเท่า	Abstract	Full Paper
PW46	การหาค่ายอดและมุมเฟสของกระแสแอคทีฟงากรูปคลื่มกระแสไหลดของการสังเคราะท์ กระแสอ้างอิงสำหรับวงงรกรองกำลังแอคทีฟหนึ่งเฟสโดยใช้ โอรงม่ายประสาทเพียบเพอร์เอ็มตรอบบอายขึ้น	Abstract	Full Paper
PW47	Optimizing Energy Storage for Medium Voltage Dynamic Voltage Rectorer using Genetic Algorithm	Abstract	Full Paper
PW48	Analysis and Control of DSTATCOM for Voltage Regulation	Abstract	Full Paper
PW49	การเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับแรงคันตกชั่วครู้ไม่สมมาตรเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า	Abstract	Full Paper
PW50	คุณภาพไฟฟ้าและวงจรกรองกระแสไฟฟ้าฮาร์ไมนิกส์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับความเร็วรอบมอเตอร์กระแสสลับ	Abstract	Full Paper
PW-J			
PW51	้ การสร้างกระแสอ้างอิงสำหรับวงจรกรองกำลังแอคทิฟหนึ่งเฟส โดยใช้โครงข่ายประสาทเพียมเพอร์เซ็บตรอนหลายชั้น	Abstract	Full Paper
PW52	การปรับปรุงดัชนีผลกระทบเนื่องจากการผิดพร่องของสายส่งสำหรับกำหนดราคาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า	Abstract	Full Paper
PW53	A High-Performance Tesla Transformer for testing 115 kV Line Post Insulator	Abstract	Full Paper
PW54	การวิเคราะห์ผลกระทบของวัสดุผสมที่มีผลต่อแรงดันทรานเชี้ยนและสภาวะกระแสลดลงเป็นศูนย์ในกระแสของการอาร์กสุญญากาศ	Abstract	Full Paper
PW55	การออกแบบและสร้างขั้วต่อสายเคเบิลใต้ดินแรงคันสูงสำหรับทดสอบหาดิสชาร์งบางส่วนโดยใช้ทฤษฎีมิติที่เหมาะสมและระเบียบวิธีไฟในต์อิลิเมนต์	Abstract	Full Paper
PW56	High Voltage and Frequency Dependence of Atmospheric Pressure Glow Discharge in Air between Two Parallel Plane Electrodes	Abstract	Full Paper



วันพุธที่ 28 ตุลาคม 2552 เวลา 13:00 น.–14:40 น.

ห้อง Convention A ประธานกลุ่มย่อย รศ.วรศักดิ์ นิรัคฆนาภรณ์

PW 002 เวลา 13:00 -13:20 น.

ลีสสแควร์ชัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนเรียนรู้โดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรมสำหรับตัวควบคุม เสลียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบปรับตัวได้ในพื้นที่กว้าง

จงลักษณ์ พาหะซา และ อิสระชัย งามหรู

บทความนี้นำเสนอลีสสแควร์ชัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับตัว ควบคุมเสถียรภาพระบบ ไฟฟ้ากำลังแบบปรับตัวได้ (LS-SVMPSS) ใน พื้นที่กว้าง โดยอาศัยเครื่องวัดเฟสเซอร์ข้อมูล สำหรับสอน LS-SVMPSS มาจากระบบที่พิจารณาความล่าช้าของสัญญาณ ข้อมูลขนาดใหญ่ สำหรับ สอนจากระบบถูกลดขนาดลงด้วยฟังก์ชันความเหมือน อัลกอริทึมทาง พันธุกรรมใช้ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ LS-SVMPSS และขีดเริ่มเปลี่ยนของฟังก์ชันความ เหมือน ผลที่ได้คือ ข้อมูลที่ซ้ำซ้อนได้ถูก กำจัดทิ้งไป เหลือเพียงข้อมูลที่ลดขนาดแล้วใช้เป็น ชัพพอร์ตเวกเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสอน LS-SVMPSS เมื่อใช้กับระบบไฟฟ้าทดสอบ ผลการศึกษาพบว่า LS-SVMPSS มีความคงทนต่อสิ่งรบกวนที่เกิดในระบบไฟฟ้าที่เงื่อนไข การทำงานด่างๆ ได้ดีกว่าตัวทำเสลียรภาพแบบทั่วไปและแบบโครงข่ายประสาท

PW 003

เวลา 13:20 –13:40 น.

An Approximation of Static Voltage Stability Margin Using Artificial Neural Networks in Power Systems

Arthit Sode-Yome, Sudaporn Chataputtisawan and Wipawan Narksap

This paper presents an approximation of voltage stability margin or Loading Margin in generation direction space using Artificial Neural Networks for static voltage stability in power systems. Artificial Neural Network is used to approximate the loading margin at particular generation direction based on the known loading margins at various generation directions. The proposed method is validated and compared with the Maximum Loading Margin (MLM) method in the modified IEEE 14-bus test system. This helps system operators to approximate voltage stability margin or loading margin of the system in a short period of time.

PW 004

เวลา 13:40 –14:00 น.

สมรรถนะของกับดักเสิร์จเนื่องจากฟ้าผ่าบนสายจำหน่าย

สทธิรักษ์ สิทธิโชคธรรม ภวัต พงษ์คนตรี และ นาตยา คล้ายเรื่อง

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์หาโอกาสที่กับคักเสิร์จที่เสาด้นขึ้นหัวสาขเคเบิลใต้คินในระบบ จำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.) เกิดความล้มเหลวเนื่องจากแรงคันเกิน ฟ้าผ่า โดยพิจารณาจากความสามารถในการรับกระแสฟ้าผ่าของกับคักเสิร์จ แล้วทำการ วิเคราะห์หาอายุการใช้งานเถลี่ยของกับคักเสิร์จเนื่องจากแรงคันเกินฟ้าผ่า ซึ่งการวิเคราะห์หา ก่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตที่ทำให้กับคักเสิร์จเล้มเหลว ทำใด้โดยใช้โปรแกรม ATPDraw จากผล การวิเคราะห์พบว่า โอกาสที่กับคักเสิร์จเล็กความล้มเหลวเนื่องจากแรงคันเกินฟ้าผ่า กรณีเวลา หน้าคลื่น 1.8 μs และ 8 μs มีก่า 14.53 % และ 9.27 % คิดเป็นอายุการใช้งานเถลี่ยของ กับ คักเสิร์จเท่ากับ 255 และ 400 ปีตามลำคับ

มหาวิทยาลัยรังสิต

PW 005

เวลา 14:00 –14:20 น.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการไหลของโหลดระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อวางแผนบริการระบบ จำหน่ายไฟฟ้าทูติยภูมิ

ธวัช เกิดชื่น ประเสริฐ เผื่อนหมื่นไวย วุฒิชัย สง่างาม และมงคล ค่านบำรุงตระกูล

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของโหลดระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อวางแผนการให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าทุติยภูมิ เทคนิคการแพร่กระจายถอยหลัง-เดินหน้าเพื่อการวิเคราะห์การไหลของโหลดถูกประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์หาระดับแรงดันที่แต่ ละโหนด กระแสของมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าถูกใช้เป็นโหลดสำหรับการ แพร่กระจายถอยหลัง ระดับแรงดันที่ได้แต่ละโหนด หรือแต่ละเสาไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าทุติย ภูมิเป็นคำตอบที่ได้ช่วงการแพร่กระจายเดินหน้า จากการทดลองพบว่าเทคนิคการ แพร่กระจายถอยหลัง-เดินหน้า สามารถให้คำตอบที่ดีต่อการวางแผนของผู้ให้บริการไฟฟ้า

PW 006 เวลา 14:20 - 14:40 น.

Optimization of a Passive EMI Filter Using Two-Port Network Approach to Reduce Common Mode Currents in an Adjustable-Speed Drive System

Chaiyan Jettanasen

Conducted electromagnetic interference (EMI) generated by switched power converters, widely used in adjustable-speed motor drive systems to pilot electromechanical actuators in many applications, can be reduced by several techniques. A classical technique is adding a passive EMI filter in the system. The design of these filters is usually a "mismatch" type by considering internal impedance of disturbance source and load, equal to 50Ω ; this does not correspond to real impedances of a considered system. The EMI minimization would be less effective. This paper proposes thus an approach to optimize a low-pass EMI filter adapted to the considered system by using two-port network approach, which is based on real parasitic impedances of the system. This EMI filter optimization is mainly dedicated to reduce common mode (CM) currents that are the most disturbing in this kind of system, especially at high frequencies (HF). The efficiency of the proposed optimization method is deduced by comparing the minimized CM current spectra to an applied normative level (ex. DO-160D in aeronautics).

วันพุธที่ 28 ตุลาคม 2552 เวลา 13:00 น.–15:00 น.

ห้อง Convention B ประธานกลุ่มย่อย ผศ.ดร.สำเริง ฮินท่าไม้

PW 007

เวลา 13:00 – 13:20 น.

Solving the Economic Dispatch Problem using Novel Particle Swarm Optimization

S. Khamsawang, P. Wannakarn, S. Pothiya and S. Jiriwibhakorn

This paper proposes an improved approach based on conventional particle swarm optimization (PSO) for solving an economic dispatch(ED) problem with considering the generator constraints. The mutation operators of the differential evolution (DE) are used for improving diversity exploration of PSO, which called particle swarm optimization with mutation operators (PSOM). The mutation operators are activated if velocity values of PSO nearly to zero or violated from the boundaries. Four scenarios of mutation operators are implemented for PSOM. The simulation results of all scenarios of the PSOM outperform over the PSO and other existing approaches which appeared in literatures.

PW 008 เวลา 13:20 – 13:40 น.

Electricity Generation Scheduling by Hybrid Ant System Algorithm with Priority List Method

Kritsana Withironprasert, Dulyatat Nualhong, Songsak Chusanapiputt and Sujate Jantarang

This paper presents a new method for applying to electricity generation scheduling of a thermal power plant by using a hybrid ant system algorithm with priority list method (HASP). The proposed methodology employs ant system algorithm (ASA) in cooperating with the priority list method to find a solution of electricity generation scheduling as means of mutually combining the advantages of them in that a flexibility of the priority list method is reinforced, while ASA can gain the benefit of using bias information for improving its performance during search process. The proposed methodology has been applied to a test system of 38-generator and a practical system comprising with a set of generators owned by the independent power producers in Thailand. The simulation results show that the proposed HASP achieves satisfactory performance to find a near-optimal solution of electricity generation scheduling within short computational time.

PW 009 เวลา 13:40 – 14:00 น.

การประยุกต์ใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory สำหรับควบคุมการใหลของ กำลังไฟฟ้าโดยใช้ UPFC

ภานุมาศ แสนพวง ไพศาล บุญเจียม และกฤตยา สมสัย

บทความนี้นำเสนอ การทำงานเชิงพลวัดของตัวควบคุมการ ใหลกำลังแบบรวม (Unified Power Flow Controller ;UPFC) ซึ่งทำ หน้าที่ควบคุมและชดเชยการไหลกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอค ทีฟในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยได้ประชุกต์ใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory แบบงำลองของ UPFC ที่นำเสนอประกอบด้วย ตัวควบคุม แรงคันไฟฟ้ากระแสตรง ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้า รีแอคทีฟโดยต่อเชื่อมกับระบบไฟฟ้าสามเฟสสาม สาย การตรวจสอบ การทำงานของ UPFC กระทำโดยการจำลองบนไปรแกรม ATP/EMTP ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของการทำงานที่ดีในการควบคุม ทั้งการควบคุม กำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ และการควบคุมการไหล ของกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุม โดย UPFC ในส่วนที่ต่ออนุกรม ซึ่งผลการจำลองสามารถควบคุมการทิศทางการไหลได้ทั้ง กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้โดยเป็นอิสระต่อกัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

PW 010

เวลา 14:00 – 14:20 น.

เสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อเชื่อมโยงกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ก่อเกียรติ อ๊อคทรัพย์, อาทิตย์ โสตรโยม และ ไพศาล บุญเจียม

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเสถียรภาพแรงค้นในระบบ ไฟฟ้ากำลังที่เชื่อมโยงกับเครื่อง กำเนิคไฟฟ้าก้งหันลม โดยใช้ไปรแกรม UWPFLOW เพื่อหาองก์ประกอบก่าโหลดสูงสุดของ ระบบไฟฟ้าก้อนถึง สภาวะแรงคันพังทลาย โดยจำลองกับระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส เพื่อ หาตำแหน่งติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า การศึกษาเสถียรภาพแรงคันใน ระบบที่เชื่อมโยงกับ กังหันลมผลิตไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แตกต่างกันทั้ง 2 ชนิด คือ เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทาง ผล การศึกษาของ บทความพบว่าก่าองก์ประกอบโหลดสูงสุดของระบบ IEEE 14 Bus ก่อน ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีก่าเท่ากับ 0.70398 p.u ตำแหน่งติดตั้งกังหัน ลมผลิตไฟฟ้าที่ทำ ให้ ระบบมีเสถียรภาพสูงที่สุดคือ บัสที่ 14 ก่า องก์ประกอบโหลดสูงสุดของระบบเมื่อติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองชนิดที่ความเร็วลม 7 m/s มีก่าเท่ากับ 0.8688 p.u. และ 0.7997 p.u ตามลำดับ

PW 011 เวลา 14:20 - 14:40 น.

การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้าเมื่อเชื่อมโยงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ก่อเกียรติ อ๊อดทรัพย์ , ไพศาล บุญเจียม และ อาทิตย์ โสตร โยม

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันในระบบ ไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกับกังหันลม ผลิตไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิคไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก โดยการศึกษาหาองก์ประกอบ ก่าโหลดสูงสุดของ ระบบไฟฟ้าก่อนถึงสภาวะแรงดันพังทลาย บทความนี้ใช้ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส เพื่อหาดำแหน่งติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าและอุปกรณ์ ปรับปรุงเสถียรภาพ แรงดันไฟฟ้า โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบ อุปกรณ์ FACTS 2 ชนิด คือ SVC และ STATCOM จากการศึกษาพบว่า เมื่อติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเข้ไปในระบบแล้ว จำเป็นด้อง ชดเชย กำลังไฟฟ้ารัแอกตีฟ เมื่อตืดตั้งอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้ารัแอกติฟสอง ชนิดพบว่า STATCOM สามารถเพิ่มค่าองก์ประกอบของโหลดสูงสุดได้ ดีกว่า SVC ตั้งนั้นบทความนี้จึง มีประโยชน์โดยตรงค่อหน่วยงานที่ รับผิดชอบด้านกวามเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าก้ลังใน การศึกษา ผลกระทบของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมต่อเสถียรภาพ แรงดันไฟฟ้า

PW 012

เวลา 14:40 – 15:00 น.

ิการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับ ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

ภาธร มีนาบุญ, ไพศาล บุญเจียม

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ในระบบสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโดยจะทำการทดสอบการแกว่ง ของกำลังที่เกิดขึ้นในแบบ Local plant mode ในสายส่งระบบ 115 kV แบบเรเดียลของการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำนวน 2 วงจร ขณะต่อร่วมกับระบบการผลิตไฟฟ้าเอกชน ผลที่ได้ทำให้ ทราบถึงความถี่ของการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่ง โดยปกติความถี่ต้องกล่าวจะเกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 2 Hz และการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าหรือ จำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับลูกค้าจำเป็นต้องควบคุมระดับแรงดันและความถี่ให้อยู่ในค่า เกณฑ์ที่กำหนด เพื่อลดมูลค่าความเสียหายของกระบวนการผลิตของลูกค้าในระบบจำหน่าย ของการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วันพุธที่ 28 ตุลาคม 2552 เวลา 15:20 น.–17:20 น.

ห้อง Convention A ประธานกลุ่มย่อย ผศ.ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี

PW 013 เวลา 15:20 – 15:40 น.

การประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับระบุตำแหน่ง PMU โดยใช้เจนเนติก อัลกอริทึม

รัฐทาน นามศิริ, ไพศาล บุญเจียม และ ธวัช เกิดชื่น

บทความนี้นำเสนอแนวทางวิเคราะห์วิธีการหาดำแหน่งของการติดคั้งหน่วยเครื่องวัด (Phase Measurement Units, PMU) ที่เหมาะสมโดยวิธีการประมาณสถานะโดยใช้ Genetic Algorithm (GA) PMU เป็นเครื่องมือวัดเฟสระหว่างแรงคันและกระแส ณ คำแหน่งที่คิดคั้ง เพื่อที่จะสังเกตการ ใหลของกำลัง ไฟฟ้า โดยในบทความนี้จะกำนวณหาดำแหน่งการติดคั้งที่ เหมาะสมและติดตั้ง PMU ให้น้อยที่สุด การระบุของการหาดำแหน่งจุดติดคั้งหน่วยเครื่องวัด ได้นำระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 14 บัส มาเป็นระบบทดสอบ ซึ่งผลของการศึกษาสามารถวัด กรอบคลุมได้หลายบัสพร้อมกันและสามารถกำหนดจุดติดคั้งหน่วยเครื่องวัดให้น้อยลงเพื่อ ลดค้นทุนการติดคั้ง ซึ่งวิธีการที่นำแสนอนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์หาค่าประมาณ สถานะในระบบกำลังไฟฟ้า

PW 014

เวลา 15:40 – 16:00 น.

Impact of protection system on distribution system reliability

Ohn Zin Lin and Bundhit Eua -Arporn

Modern society generally expects high reliability power supply. Electricity interruption may cause high damage to consumers. Most of load interruptions are due to breakdowns in distribution systems. Therefore, the improvement of reliability for a distribution system including its protection system is of interest in this paper. Equipment failure may occur electricity interruption. However with a proper protection system, the interruption will be confined in a particular area, resulting in better reliability performance. In this paper, impact of protective devices installation, e.g. disconnecting switch and fuse on distribution system reliability will be analyzed. In addition, impact of voltage dip on each interested load point will also be calculated and presented. The developed method has been tested with the Reliability Test System (RBTS).

PW 015

เวลา 16:00 – 16:20 น.

Wide Area Robust SMES Controller Design for Stabilization of Interconnected Power System

Mongkol Saejia, Issarachai Ngamroo and Cuk Supriyadi Ali Nanda

This paper proposes a wide area robust controller design of Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) based on synchronized phasor measurement units (PMUs) for stabilization of inter-area oscillation. Using the steady-state phasor data, the simplified oscillation model (SOM) can be identified and applied to tune the SMES control parameters. To enhance the system robust stability, system uncertainties such as various operating conditions, system parameters variation etc., represented by the inverse additive perturbation are considered in the optimization problem. Solving the problem by genetic algorithm, the SMES control parameters can be obtained. Simulation studies in the West Japan 6-machine power system confirm the robustness of the proposed SMES.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

PW 016

เวลา 16:20 – 16:40 น.

Power Oscillation Stabilization by SMES in Interconnected Power System with Wind Farms

Mongkol Saejia, Issarachai Ngamroo and Cuk Supriyadi Ali Nanda

This paper proposes a robust controller design of Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) for stabilization of interconnected power systems with wind farms. The inverse additive perturbation is applied to represent system uncertainties such as variation of system parameters, several generating and loading conditions etc. The structure of active and reactive power controllers of SMES is the first-order lead-lag compensator. To tune the controller parameters, the optimization problem is formulated based on the enhancement of additive stability margin. The particle swarm optimization is used to solve for controller parameters. Simulation studies in a six-area interconnected power system with wind farms confirm the robustness of the proposed SMES against various system operating conditions.

PW 017 เวลา 16:40 – 17:00 น.

พฤติกรรมการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชาญชัย พงศ์สุวรรณ และ ชาญณรงก์ บาลมงกล

การลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ก่าสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นสภาวะผิดปกติที่ไม่สามารถ ตรวจจับได้ด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน ซึ่งการเกิดลัดวงจรลักษณะดังกล่าวไม่ได้สร้างความ เสียหายให้กับ อุปกรณ์ที่ดิดตั้งในระบบไฟฟ้าแต่เป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของ ประชาชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเกิดอาร์ก ซึ่งเสี่ยงต่อการเกิด อักกีภัย ดังนั้นจึงมีความ จำเป็นที่ต้องศึกษาพฤติกรรม รูปแบบและ คุณลักษณะการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ก่าสูง ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า บทความนี้นำเสนอการทดลองการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ก่าสูง ใน ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กระแสไฟฟ้าที่สถานี ไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางในการตรวจจับการ เกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ก่าสูงที่ น่าเชื่อถือต่อไป

PW 018

เวลา 17:00 – 17:20 น.

Influence of Impulse Wavefront Time on the CFO of Suspension Insulator Strings Witthawat Ruangkittikhun and Komson Petcharaks

This paper presents the influence of impulse voltage wavefront time T1 on the flashover voltage of suspension insulator strings. The wavefront time of impulse voltages are varied between 1.4 μ s – 150 μ s for both positive and negative polarities. The specimen under investigation composes of 4 – 6 discs, 52-4 porcelain insulator, assemble as an insulator string. The results of investigation show that the wavefront time of impulse voltage is affected the CFO of the insulator strings. However, the affect is only slightly as the reduction of CFO is only about 5%.

ห้อง **Convention B** ประธานกลุ่มย่อย ผศ.สิริวิช ทัดสวน รศ.บุญเลิศ สื่อเฉย PW 019 เวลา 15:20 – 15:40 น.

วิธีทางเลือกและโปรแกรมสำหรับการวัดและแสดงผลสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูง พินิจ จิตจริง

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการวัดสัญญาณไฟฟ้า แรงคันสูงตามมาตรฐานสากล [1-3] และวิธีทางเลือกแบบอื่นๆ ซึ่งเป็นที่ ยอมรับและได้มีการนำเสนอในการประชมวิชาการ ต่างๆมาแล้ว, วิธีการ ปรับเทียบมาตรฐานการวัดสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ, การ ้วัด และบันทึกสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงร่วมกับเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง และการ ประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับการแสดงผลสัญญาณไฟฟ้าแรงคันสูง (1 แรงคันสูงกระแสสลับ , 2 แรงคันสูงกระแสตรง และ 3แรงคันสูงอิมพัลส์) ซึ่งรูปแบบวิธีการที่ได้นำเสนอสามารถ แสดงผลสัญญาณไฟฟ้าแรงคันสงได้ทั้ง 3 ชนิด การใช้งานร่วมกับเครื่องมือวัดสัญญาณมี ้ความสะดวก สัญญาณที่ได้สามารถนำไปใช้ประกอบการจัดทำรายงาน เพื่อรับรองผลการ ทดสอบการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงคันสูงหรือนำ ไปใช้เพื่อการสนับสนุนงานวิจัยทางค้าน วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสงได้

PW 020

เวลา 15:40 – 16:00 น.

การจำกัดกระแสฟอลต์ลงดินอย่างเหมาะสมสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนและ กำลังไฟฟ้าร่วมด้วยค่าความต้านทานลงดิน

ประมุข อุณหเลขกะ อคุลย์ คำรงกิจชัยกุล ชยพันธ์ จันทร์น้อย

บทความนี้อธิบายถึงกรณีศึกษาและวิเคราะห์การเกิดฟอลต์ใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อน และกำลังไฟฟ้าร่วมโดยใช้โปรแกรม ETAP Power Station ในการจำลองการเกิดฟอลต์แบบ หนึ่งเฟสฟอลต์ลงดิน (Single line to ground fault) และสามารถจำกัดกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น จากการติดตั้งความด้านทานลงดิน (NGR: Neutral Grounding Resistor) ที่ก่าต่างๆ ที่หม้อ แปลงไฟฟ้า และเครื่องกำเนิคไฟฟ้า โคยเปรียบเทียบ ตำแหน่งการติดตั้ง NGR เพื่อหางนาด และตำแหน่งการติดตั้ง NGR ให้มี กวามเหมาะสมที่สุดสำหรับการจำกัดกระแสฟอลต์ลงดิน ของระบบ ไฟฟ้าได้และยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพแรงคันไฟฟ้าของเฟสที่ไม่เกิด ฟอลต์ให้ดี ขึ้น ซึ่งจากผลการจำลองของบทความฉบับนี้ ควรทำการติดตั้ง NGR ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด 4.75 MW เพื่อเป็นการยกระดับ แรงคันไฟฟ้าของเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ให้มีค่าใกล้เคียง ก้าเระด้าแรงดับ ปกติ

PW 021 เวลา 16:00 – 16:20 น.

การวิเคราะห์การแจกแจงอัตราความเสียหายของระบบสายป้อนจำหน่าย

ประมง อณหเลงกะ นาตยา คล้ายเรื่อง อคลย์ คำรงกิจชัยกล ชยพันธ์ จันทร์น้อย ้บทความนี้อธิบายถึงกรณีศึกษาการหาค่าอัตราความเสียหายของ อปกรณ์ในระบบจำหน่าย ้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งค่าอัตราความ เสียหายนี้จะขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และเป็นการศึกษา วิเคราะห์ รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในระบบ ้ จำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในช่วงระหว่างปี 2548 – 2550 เพื่อนำรูปแบบการ แจก แจงที่เหมาะสมมาหาค่าอัตราความเสียหายเฉลี่ยที่แท้จริงของการเกิด ไฟดับ การทดสอบ รปแบบการแจกแจงของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ที่เกิดจากไฟดับ จะต้องมีค่า ObservedSignificance Level (OSL) มีค่า มากกว่า 0.05 ซึ่งเป็นการทดสอบด้วยวิธี Anderson – Darling test (AD) พบว่าการแจกแจงแบบไวบูลล์ มีจำนวนฟีคเดอร์ที่ผ่านการทคสอบด้วย วิธี Anderson – Darling test (AD) มีมากที่สุดในทุกวิธี ดังนั้นจึงใช้รูปแบบการ แจกแจงแบบ ใวบลล์มาใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MINITAB เป็น โปรแกรมในการวิเคราะห์ ้จากการวิเคราะห์ จำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องใน ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภมิภาค ภาค ึกลาง 1 แบ่งตามสาเหตุ ต่างๆพบว่าสาเหตุอื่นๆและสัตว์ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ ้ไฟฟ้า ดับแบบถาวร และสังเกตได้ว่าอัตราความเสียหายของสถานีนนทรีสาย ป้อนที่ 1 อัตรา

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ความเสียหายสูงที่สุดถึง 89.318 ครั้ง / ปี และรองลงมาคือ สถานีบางไทรสายป้อนที่ 10 มี ้อัตราความเสียหายสูงถึง 74.958 ครั้ง / ปี จากการวิเคราะห์สาเหตุพบว่าเกิดสาเหตุจากสัตว์ และอื่นๆสงกว่าสถานี อื่นๆ จึงเป็นไปได้ว่าสถานีบางไทรมีระบบจำหน่ายที่ตัดผ่านพื้นที่ที่มี สัตว์ชุกชุมและต้นไม้เป็นสวนใหญ่

เวลา 16:20 – 16:40 น. PW 022

A Study of Fixed Capacitor Bank Placement for the Distribution Feeder of Vientiane/Bandon Substation in Lao PDR

Khamphoungurn TILAKUL, Panhathai BUASRI and Jittipath TRIYANGKULSRI

This paper presents a simple method to size and place a fixed capacitor bank to improve voltage drop in the 22-kV distribution feeder of Vientiane/Bandon substation in Lao PDR. The proposed method used data collected from the supervisory control and data acquisition (SCADA) measurements of the distribution system as initial state of the power world program, a mathematical program. The simulations are run for different locations of a capacitor bank to determine the best placement under both peak-load and light-load conditions. Then voltage drops difference before and after installing the fixed capacitor bank are compared using Microsoft Excel. Based on this comparison, the voltage drops are improved by the fixed capacitor bank placement using the proposed method within the limitation ±5% and total system losses can be reduced significantly. As a result, the best placement to place the capacitor bank is at 2/3 of feeder length. The proposed method can be used to determine the best placement of a fixed capacitor bank for other substations in Lao PDR.

PW 023 เวลา 16:40 – 17:00 น.

การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของแท่งกราวด์ร็อด

ใชยพร หล่อทองกำ ศิขริน ศรโชติ กิตติกร มณีสว่าง และ เอกรัตน์ ไวยนิตย์

บทความนี้เป็นรายงานการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของแท่ง กราวค์รีอดกลีบมะเฟืองชุบ สังกะสีแบบงุ่มร้อนที่ติดตั้งใช้งานในระบบ จำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อศึกษา แฟกเตอร์ที่มีผลต่อการกัดกร่อน โดยใช้วิธีการทดสอบอัตราการกัดกร่อนด้วยเทคนิก Tafel อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G5 ศึกษากวามแตกต่างของตัวอย่างแท่งกราวค์รีอคใหม่ที่ผลิต ขึ้นตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเปรียบเทียบกับตัวอย่างแท่งกราวค์รีอดที่ผ่าน การติดตั้งใช้งานในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาแถ้วประมาณ 4 ปี ข้อมูลที่ได้ สามารถนำไปใช้ประเมินอายุการใช้งานแท่งกราวค์รีอคกลีบมะเฟืองในระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต่อไป

PW 024 เวลา 17:00 – 17:20 น.

การประเมินความเชื่อถือได้ของการจัดอันดับเทียร์สำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า สทธิพงษ์ รัตนาภากร และ โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

บทความนี้นำเสนอวิธีการประเมินความเชื่อถือได้ของการจัด อันดับเทียร์สำหรับการ ออกแบบระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความ เชื่อถือได้ของสถานที่สำคัญต่าง ๆ เช่น ธนาคาร โรงพยาบาล โรงงาน อุตสาหกรรม เป็นต้น โดยเทียร์แต่ละระดับจะมีความเชื่อถือได้ ที่แตกต่าง กันขึ้นโดยผ้ออกแบบสามารถเลือกให้สอคกล้องกับระบบ โดยระบบที่ ใช้ทดสอบ คือระบบไฟฟ้าของโรงงานอตสาหกรรมที่มีความเชื่อถือได้ที่ดี

วันพุธที่ 28 ตุลาคม 2552 เวลา 15:20 น.–17:20 น.

ห้อง Sri Prachin ประธานกลุ่มย่อย ผศ.อำนาจ สุขศรี

PW 025

เวลา 15:20 – 15:40 น.

Dynamic simulations of Grid Connected Photovoltaic Distributed Generations Part I – Formulation and Solution

Natthaphob Nimpitiwan, Vichakorn Hengsritawat, Thavatchai Tayjasanant

This paper proposes a time domain simulation technique for analyzing low frequency response of a Photovoltaic Dis-tributed Generation (PVDG). The simulation is accomplished by forming all system components of PVDG (e.g., PV arrays, DC-DC boost converter and DC-AC inverter) in state space representations. All modules are incorporated to analyzing the system responses to abnormal voltage condi-tions. A companion paper (Part II) is available to provide implementations and applications of the propose technique.

เวลา 15:40 – 16:00 น.

Dynamic simulations of Grid Connected Photovoltaic Distributed Generations Part II
– Implementation and Applications

Natthaphob Nimpitiwan

PW 026

This is a companion paper to a paper of the same title "Dynamic simulations of Grid Connected Photovoltaic Dis-tributed Generations Part I". This paper presents an implementation of the proposed dynamic simulation technique for a photovoltaic distributed generation (PVDG) intercon-nected to a grid system. From the proposed state-space representation in Part I, eigenvalue analysis, dynamic simula-tion during abnormal voltage conditions are discussed. Re-sults from the analysis provide an alternative way to assess power quality issues, fault current level and dynamic re-sponse of PVDG connected to a grid system.

PW 027

เวลา 16:00 – 16:20 น.

Removal of must-run constraints and opening for bilateral trading - an operational analysis of the Thai power system

Supattana Nirukkanaporn and S. Kumar

The paper first analyzes the power system operated with independent power producers (IPPs) holding the must-run purchase contracts. The parameter considered is an average generation cost (B/kWh). Operational constraint from must-run PPA which leads to higher generation cost is clearly shown. The paper further compares the operating conditions in which the must-run constraints of new IPPs are removed and electricity market is partially opened for bilateral trading under various assumptions in order to analyze if better economic operation could be achieved.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

PW 028

เวลา 16:20 – 16:40 น.

จุณสมบัติทางไฟฟ้า และไดอิเล็กตริกของน้ำมันพืชใช้แล้ว ปุณยวีร์ ทองเขียว อานันทวัฒน์ คุณากร นรเศรษฐ พัฒนเคช

บทความฉบับนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้า และ ไดอิเล็กตริกของน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ เป็นฉนวนเหลวของหม้อแปลง โดยทำการทดสอบ ความคงทนต่อแรงดัน ตามมาตรฐาน IEC 156 และกำลังสูญเสียไฟฟ้าไดอิเล็กตริก ตาม มาตรฐาน ASTM D924 น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้ น้ำมันทานตะวัน น้ำมัน ถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์ม ผลการ ทดสอบพบว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า และไดอิ เล็กตริกของน้ำมันพืชทั้ง 4 ชนิดลดลงอย่างมากเมื่อผ่านการใช้งาน โดยการประกอบอาหาร มาแล้ว นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่า น้ำมันทานตะวันจะเป็นตัวเลือกที่มี ศักยภาพที่สุดใน การใช้งานแทนน้ำมันหม้อแปลง

PW 029 เวลา 16:40 – 17:00 น.

การศึกษาการเกิดการเบรกดาวน์ในช่องว่างอากาศแบบแท่ง-แท่งเมื่อได้รับแรงดันอิมพัลส์ ฟ้าผ่าขั้วลบ ทับข้อนบนแรงดันกระแสสลับ

สรรชัย อานอาชา อานันทวัฒน์ คุณากร นรเสรษฐ พัฒนเคช

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาคุณสมบัติการเกิดเบรก ดาวน์ในช่องว่างอากาศแบบแท่ง-แท่ง เมื่อได้รับแรงคันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ขั้วลบทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับที่มุมต่างๆกัน การวิจัย จะแบ่ง ออกเป็น 3 กรณี คือ การทดสอบหาแรงดันเบรกดาวน์ด้วยแรงดัน กระแสสลับ แรงดันเบรกดาวน์ทางสถิติของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้วลบ และการทดสอบการเกิดเบรก ดาวน์ของแรงดันแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าขั้ว ลบทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับที่มุม 0°-360° ช่องว่างอากาศแบบ แท่ง-แท่งทำมาจากแท่งทองเหลือง ผลการทดสอบพบว่ามุมที่เกิดการ เบรกดาวน์จะเกิดในช่วงลบของแรงดันกระแสสลับตั้งแต่มุม225°-315° และจะเกิดการเบรก ดาวน์ที่รุนแรงในช่วงล่ายอดของแรงดันกระแสสลับที่มุม 270°

PW 030 เวลา 17:00 – 17:20 น.

Three-phase Induction Motor Operation with Single-phase Voltage Source สถิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ และ ณรงค์ฤทธิ์ เรียนทับ

This paper focuses on an operation of high horse-power threephase induction motor with single-phase voltage source. The operation based on capacitor connections is divided into two categories; startingcapacitor series-permanent-capacitor connection and starting-capacitor parallel-permanent-capacitor connection. Also, the calculation of appropriate starting-capacitor for high starting torque and optimized permanent capacitor for good motor performance at a wide range of load are presented. With the proposed connections and the suggested capacitor calculation, the modified motor obtains good characteristics not only starting but also running situations.

วันพฤหัสบดีที่ 29 ตุลาคม 2552 เวลา 12:40 น.–15:00 น.

ห้อง Convention A ประธานกลุ่มย่อย ผศ.ณัฐวุฒิ ชยาวนิช

PW 001

เวลา 13:00 – 13:20 น.

A Power Quality Monitoring System Based on Microcontroller

Suttichai Premrudeepreechacharn and Krisada Yingkayun

This paper proposes an embedded system applied for power quality monitoring that captures waveform of fault signal on single phase or 3-phases system in real time and allows users to control and receive data from remote module via Ethernet networks by using TCP/IP protocol.The power quality monitoring system stored fault data in CSV (Comma Separated Value) format into SD-CARD which is easy to analyze later by spread sheet program. The monitoring system uses the energy measurement integrated circuit (IC) ADE7758 with integrated power quality monitoring features, AL440B FIFO (First-In First-Out) memory, LPC2368 microcontroller and ADUC7024 microcontroller. The monitoring system can detect power quality problem events in power lines and stored fault data to storage when fault signals detected.

PW 031 13an 1

เวลา 12:40 – 13:00 น.

Performance Prediction of Three-phase Induction Motor Operated by Single-phase Supply System under Capacitor Start Condition

ณรงค์ฤทธิ์ เรียนทับ และ สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ

This paper proposes a performance prediction technique of three-phase induction motor when the motor is applied with a singlephase voltage source and is modified as a capacitorstart motor. Motor input current and input power for normal operating condition are utilized with genetic algorithms method to calculate the optimized motor parameters. After that, four equivalent circuits based on core loss determination are investigated. The results show that the calculated results coming from the equivalent circuit with a core loss resistance which is placed in parallel with referred rotor input impedances provide a very good agreement with the experimental results.

PW 032 เวลา 13:20 - 13:40 น.

กรณีศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการเกิด Overshoot ของแรงดันสูงอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบ อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงของบริษัท PRECISE ELECTRIC MFG. CO., LTD. " *นรเศรษฐ ทัฒนเดช*

บทความนี้นำแสนอการแก้ปัญหาการเกิดโอเวอร์ชูดของ แรงคันสูงอิมพัลส์ซึ่งปัญหาโอเวอร์ ชูตดังกล่าวมีผลมาจากค่าความ เหนี่ยวนำในองค์ประกอบความด้านทานเวลาหน้าคลื่น การ แก้ปัญหาจะ ใช้วิธีการปรับปรุงค่าองค์ประกอบความต้านทานเวลาหน้าคลื่น โดย วิธีการ จำลองทางกอมพิวเตอร์และจัดสร้างตัวต้านทานขึ้นมาใหม่ที่มีก่า ความเหนี่ยวนำลดลง เมื่อทำ การเปลี่ยนชุดความด้านทานเวลาหน้าคลื่น ใหม่แทนชุดเดิม สามารถลดขนาดโอเวอร์ชูดได้ รูปคลื่นอิมพัลส์ที่สร้าง ขึ้นมาสอดกล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานการทดสอบ

เวลา 13:40 – 14:00 น.

การศึกษาสมรรถนะการป้องกันฟ้าผ่าระบบสายส่ง 69 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้านครหลวง โดย ต่อเพิ่มสายดินนอกเสา

พรชัย เศรษฐสมบัติ และ ชาย ชมภูอินใหว

PW 033

บทความนี้เสนอการศึกษาสมรรถนะการป้องกันฟ้าผ่าระบบ สายส่ง 69 กิโลโวลต์ ของการ ไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)โดยต่อเพิ่มสายดิน นอกเสา กรณีเกิดฟ้าผ่าลงเสาโดยตรง จากผลการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จำลองด้วยโปรแกรม ATP-EMTP พบว่าเมื่อต่อเพิ่มสายดินนอกเสา ที่ความต้านทานดินอิม พัลส์ 5 โอห์ม เวลาหน้าคลื่นฟ้าผ่า 2 ไมโครวินาที ระยะห่างระหว่างเสา 80 เมตร ฉนวนลูก ถ้วย 4 ลูกถ้วย อัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ มี ก่าลดลงจาก 6.88 ครั้ง/ปี เหลือ 3.37 ครั้ง/ปี หรือลดลงประมาณ 52 เปอร์เซนด์

PW 034

เวลา 14:00 – 14:20 น.

ี วิธีการเบื้องต้นสำหรับประเมินอุณหภูมิขดลวดสเตเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ ต้นแบบความร้อนอย่างง่าย

ปุณยภัทร ภูมิภาค และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

บทความนี้นำเสนอวิธีการเบื้องค้นสำหรับการหาอุณหภูมิ ขคลวดสเตเตอร์สำหรับมอเตอร์ เหนี่ขวนำกรงกระรอกแบบที่มีพัดลม ระบาขความร้อน (TEFC) ในบทความนี้นำเสนอเทคนิค การวัดอุณหภูมิ ร่วมกับด้นแบบความร้อนอย่างง่าย ก่าพารามิเตอร์ของด้นแบบความร้อน สามารถประเมินหาได้โดยใช้หลักการจีเนติกส์อัลกอริธึมร่วมกับการวัด อุณหภูมิและกำลังก่า สูญเสียที่กำนวณได้จากการวงจรสมมูล อุณหภูมิ ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ขวนำทุก ภาระทางกลกำนวณหาได้จาก วิธีการที่นำเสนอ โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ มอเตอร์พิกัด 2.2 กิโลวัตด์ พบว่าวิธีที่นำเสนอมีความแม่นยำ และมีความถูกด้อง

PW 035

เวลา 14:20 – 14:40 น.

การวัดความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยใช้เทคนิคการ วิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์

ปุณยภัทร ภูมิภาค และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

บทความนี้นำเสนอวิธีการวัดความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อ ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณกระแส ของมอเตอร์ ในบทความนี้ได้ทำการทดสอบ วิธีการวัดความเร็วที่ นำเสนอกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพิกัด 2.2 และ 4.0 กิโลวัดต์ โดย เปรียบเทียบกับความเร็วที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วแบบแสงจากการ ทดลองพบว่าเป็นวิธีการ ที่สะดวก ประหยัด และมีความแม่นยำ ซึ่งวิธีการ ที่นำเสนอมีความเหมาะสมเพื่อนำไป ประยุกต์ใช้งานร่วมกับวิธีการ ประมาณก่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานในกรณีที่ไม่ สามารถวัด ความเร็วได้โดยตรง

PW 036

เวลา 14:40 – 15:00 น.

เครื่องจำลองรูปคลื่นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ฎธวัช วิริยะกิติกุล อานันทวัฒน์ คุณากร และ นรเศรษฐ พัฒนเคช

บทความนี้ นำเสนอราขละเอียดและวิธีการสร้างสัญญาณจำลอง รูปพัลส์ที่เกิดจากการ ดิสชาร์จบางส่วน โดยจุดประสงค์หลักในการ จำลอง คือ เพื่อสร้างรูปคลื่นพัลส์ที่มีลักษณะ เหมือนการเกิดดิสชาร์จ บางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำ ลังที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการ เสื่อมสภาพของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้นำ ไมโครคอนโทรเลอร์มา ประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากสามารถสร้างรูปพัลส์ จำลองจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อ แปลงไฟฟ้ากำลังได้หลาย รูปแบบ อาทิเช่น การสร้างสัญญาณการดิสชาร์จในฟองอากาศหรือ การ ดิสชาร์งในน้ำมัน ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถสร้างพัลส์ได้พร้อมๆ กันหลาย สัญญาณ ในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อที่จะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดดิสชาร์ต บางส่วนพร้อมกันหลายจุดใน เวลาเดียวกัน แต่ดำแหน่งแตกต่างกัน เครื่องจำลองที่นำเสนอนี้ถือว่ามีประโยชน์มาก ใน การศึกษาสภาพความ เป็นฉนวนที่บกพร่องภายในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ห้อง Convention B

ประธานกลุ่มย่อย รศ.ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

PW 037 เวลา 13:00 – 13:20 น.

การปรับปรุงปริมาณฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกระตุ้นภายในตัวเองที่ประยุกต์ใช้งานกับระบบกักเก็บพลังงาน

พุทธพร เศวตสกุลานนท์ วิจิตร กิณเรศ

บทความนี้นำเสนอการการปรับปรุงปริมาณฮาร์มอนิกของ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วโดยวิธีเฟสมัล ดิพิเคชั่นสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหนี่ยวนำสามเฟสแบบกระดุ้นภายในด้วเองที่ประยุกด์ใช้ งานกับระบบ กักเก็บพลังงานขนาดพิกัด 1.5 กิโลวัตต์ 500 โวลท์ 3 แอมแปร์ วิเคราะห์ ขนาด ของด้วเก็บประจุสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากวงจร สมมูลแบบคงด้วและการไหล ของกำลังไฟฟ้าเพื่อหาขนาดตัวเก็บประจุ สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน ผลที่ได้รับสามารถ นำไปเป็นแนวทางใน การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมแบบกระดุ้นภายใน ตัวเองร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานที่สามารถใช้งานอย่างมีเสถียรภาพ

PW 038 เวลา 13:20 – 13:40 น.

Estimation method of improved parameter for transmission network model ทองฉัตร เพิ่มทวีโชคชัย

State estimation in power system is an important process used to eliminate errors in measurements. One possible that decreases the efficiency of state estimation is the error of parameter in transmission network model. Parameter estimation is a convenient method which is used to estimate more accurate value of parameter. But the conventional method of parameter estimation spends a lot of computational time for calculating with over all of power system. Thus, the new enhancement of parameter estimation is proposed to reduce computational time by dividing the network of power system into subsystems. The new proposed method is tested in IEEE 14 bus power system and compares with conventional parameter estimation method. The results show the new proposed method reducing the computational time about 50% and still remaining accurate value of estimated parameters when comparing with conventional method.

PW 039 เวลา 13:40 - 14:00 น.

การสืบสวนความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการรักษาระดับ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วโดยใช้ตัว ชดเชยวาร์แบบสแตติกสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสาม เฟสแบบกระตุ้นภายในตัวเอง

พุทธพร เศวตสกุลานนท์ วิจิตร กิณเรศ

บทความนี้นำเสนอการสืบสวนความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูญเสียของ การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วโดยใช้ดัว ชดเชยวาร์แบบสแตติกสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหนี่ยวนำแบบกระตุ้น ภายในตัวเองขนาด 2.2 กิโลวัตด์ 220/380 โวลท์ 8.7/5 แอมแปร์ 4 ขั้วแม่เหล็ก วิเคราะห์ขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหนี่ยวนำจากวงจร สมมูลแบบคงตัวและการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้ ตัวชดเชยวาร์แบบสแตติก 2 แบบในการ รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า เปรียบเทียบพฤติกรรมการผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าและ กำลังไฟฟ้า สูญเสียของการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อมีภาระแบบความ ด้านทาน ผล จากการวิจัยจะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมเพื่อ ผลิตไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

PW 040

เวลา 14:00 – 14:20 น.

Parameter estimation of transmission network model using linearized parameter estimation

ทองฉัตร เพิ่มทวีโชคชัย

This paper presents the identification and linearized parameter estimation method of transmission network model that has errors to improve the efficiency of state estimation in power system. The practical environment such as temperature, operating time, and inaccurate manufacturing data causes the defects of parameters power system which made errors between real value and of parameter are used in state estimation process. This method is tested in IEEE 14 bus power system. The primary results shows if the errors in transmission are corrected, then the efficiency of state estima increase obviously.

PW 041 เวลา 14:20 - 14:40 น.

การคำนวณหาค่าความเก็บประจุสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เมื่อต่อใช้งานกับระบบ ไฟฟ้าหนึ่งเฟสร่วมกับจีเนติกอัลกอรีซึม

กัลยา เย็นฉ่ำ ปุณยภัทร ภูมิภาค และ สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ

บทความนี้นำเสนอการคำนวณหาค่าความเก็บประจุสำหรับ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเมื่อ นำไปใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟส ในลักษณะเป็นมอเตอร์คาปาซิเตอร์ต่อร่วมถาวร แบบอนุกรม วิธีการนี้จะ หาค่าความเก็บประจุโดยใช้หลักการจีเนติกส์อัลกอริซึมและ วงจรอิมพิ แดนซ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเมื่อรับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่ง วงจรอิมพิ แดนซ์ของมอเตอร์เป็นวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส แบบสองขคลวคที่ไม่สมมาตร ตามรูปแบบการต่อใช้งานการ์ปาซิเตอร์ กับขดลวดสเตเตอร์ เพื่อครวจสอบความถูกด้องของ วิชีการ ดังนั้นจึงทำ การทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพิกัค 2.2 kW และ 3.7 kW เมื่อ ใช้งานได้กับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการเลือกใช้ ขนาดการ์ปาซิเตอร์ ให้เหมาะสมกับคูณลักษณะของโหลด

PW 042

2 เวลา 14:40 – 15:00 น.

การศึกษาพฤติกรรมการกระจายแรงดันบนผิวถนวนพอร์ชเลน ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง *นรเศรษฐ พัฒนเดช, ชาญชัย โสสีภา, ชีวิน ช่างทอง, ณัฐวุฒิ วงก์กำขาว, ปุณยวีร์ ทองเขียว,* พชร แดงรักษ์, สมาน สามล

บทความฉบับนี้ นำเสนอผลการศึกษาพฤดิกรรมการกระจาย แรงค้นบนปีกพอร์ซเลนของลูก ถ้วยฉนวน และ โวลท์เตจดิไวเดอร์แบบ ตัวเก็บประจุ โดยจำลองการกระจายแรงคันด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงโดยทำการวัดการกระจาย แรงคันของลูกถ้วยแท่งและแท่งก้านตรงที่ดิดตั้งตามมาตรฐานและไม่ตรง ตามมาตรฐาน ANSI C29.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้ พบว่าลูกถ้วยแท่งในกรณี ที่ดิดตั้งตามมาตรฐานจะมีค่า แรงคันที่กระจายบนปีกแต่ละปีกน้อยกว่า การดิดตั้งไม่ตรงตามมาตรฐานซึ่งมีผลตรงกันข้าม กับกรณีของลูกถ้วย แท่งก้านตรง แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการทดสอบมีความใกล้เคียงกับ ค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การวัดการกระจายแรงดันตามผิวของ โวลท์เตจดิไวเดอร์มีก่าผล การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แตกต่างกับผลการทดสอบ ค่อนข้างมาก

วันพฤหัสบดีที่ 29 ตุลาคม 2552 เวลา 13:00 น.–15:00 น.

ห้อง Sri Prachin

ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว

PW 043 เวลา 13:00 – 13:20 น.

การศึกษาและการออกแบบสร้างหม้อแปลงปรับค่าแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส ที่กำลังพิกัด 7.5 kVA *พูนศรี วรรณการ*

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการศึกษาและออกแบบสร้างหม้อ แปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้า 1 เฟส เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายหม้อแปลง ทคสอบไฟฟ้าแรงสูงขนาค 100 kV 7.5 kVA ใน ห้องปฏิบัติการ ไฟฟ้าแรงสูง โดยทำการศึกษาหม้อแปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้า ขนาค 6.6 kVA แล้วนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบสร้างหม้อแปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้า ขนาค 7.5 kVA โดยหา ค่าคงที่เอาต์พุดของหม้อแปลงและหาขนาค พื้นที่หน้าตัดแถนเหล็กจริงจากการวัดและ คำนวณ และนำข้อมูลที่ได้มา ออกแบบสร้างหม้อแปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้า ขนาด 7.5 kVA โดยหา ผลที่ได้คือ ข้อมูลที่ได้มา ออกแบบสร้างหม้อแปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้าขนาค 7.5 kVA ผลที่ได้คือ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาหม้อแปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้าขนาด 6.6 kVA สามารถ นำไปใช้ออกแบบสร้างหม้อแปลงปรับค่าแรงคันไฟฟ้า 1 เฟส เพื่อใช้เป็นแหล่งง่ายหม้อแปลง ทดสอบไฟฟ้าแรงสูงขนาค 100 kV 7.5 kVA ได้

PW 044

เวลา 13:20 – 13:40 น.

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะใช้งาน

ปุณยภัทร ภูมิภาค และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบวิธีการประเมินประสิทธิภาพ มอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะใช้ งานเพื่อช่วยให้วิสวกรสามารถตัดสินใจได้ อย่างถูกต้องในการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ใช้ งานอยู่ให้มี ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น บทความนี้ให้ความสนใจกับวิธีการประเมิน ประสิทธิภาพ ที่นำเสนอและวิธีการประเมินประสิทธิภาพมาตรฐาน โดย การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2.2 kW และ 4.0 kW เปรียบเทียบกับการผลการทดลองโดยใช้ วิธีการประเมิน ประสิทธิภาพที่นำเสนอและวิธีการประเมินประสิทธิภาพมาตรฐาน แสดงให้ เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นมีความแม่นยำสูง มีความสะดวก สำหรับการประเมินการใช้ พลังงานจริงของมอเตอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่ ถูกต้องในการตัดสินใจลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่ที่มี ประสิทธิภาพสูงขึ้น

PW 045

15 เวลา 13:40 – 14:00 น.

Lighting Control for Energy Saving Equipment of High Intensity Discharge Lamp Using Fuzzy Logic Controllers

Chamni Jaipradidtham and Prayuth Inban

This paper presents the energy saving method for the lighting system of high intensity discharge lamp with lighting control of an electronic dimming ballast using a fuzzy logic controller (FLC). The design and analysis of a series resonant parallel loaded inverter (SRPLI)of a half bridge of an electronic dimming ballast. The output voltage and the normalized output current with respect to control frequency were calculated. The theoretical calculations result were verified experimentally. In this paper, the energy saving by using a FLC is applied to the lighting systems in which the lamp parameters of the component values for lighting efficiently of high intensity discharge lamp and resulting in a power factor is 0.87, and low current harmonic distortion 22 %, at efficiency of illumination 140 lumen/W and efficiency loss of ballast 84 % with a 70 W HPS lamp at voltage 220 Vrms. The energy consumed by the lamps was reduced at 35 %.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาคกระบัง

PW 046

เวลา 14:00 – 14:20 น.

Enhancement of Frequency Control Effect of Microturbine by Electrolyzer in a Smart Grid System

Sitthidet Vachirasricirikul, Issarachai Ngamroo, Somyot Kaitwanidvilai and Theerawut Chaiyatham

Generally, the power output of microturbine (MT) can be controlled to compensate for load change and alleviate the frequency fluctuations in a microgrid (MG) system. Nevertheless, the MT may not adequately compensate rapid load deviation due to its slow dynamic response. Furthermore, when wind power (WP) and photovoltaic (PV) are combined into the system, they may cause large frequency fluctuation. With the fast dynamic response of electrolyzer system (ES), this paper applies ES to absorb these power fluctuations and enhance the frequency control effect of MT in the MG. As the smart grid, the coordinated control of MT and ES is performed via the control and monitoring system. The coordinated structure H^{TO} loop shaping control. Simulation results show the robustness and control effect of the proposed coordinated MT and ES controllers against system parameters variation and different operating conditions.

PW 047

เวลา 14:20 – 14:40 น.

เครื่องกำเนิดแรงดันและกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นผสม 6 kV, 3 kA

นรเสรษฐ พัฒนเดช, นิจธนกร สุระพร, นริศ แทนบุญ, กมกริช เสนานุช, ปฐมพงศ์ วงศาโรจน์ , พีรวุฒิ ยุทธโกวิท

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิด แรงคันและกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น ผสม 6 kV, 3 kA ที่สามารถสร้าง แรงคันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 6 กิโลโวลค์ขณะเปิดวงจร และสร้าง กระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 3 กิโลแอมป์ขณะลัดวงจร เพื่อใช้ใน การทคสอบ อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ตามมาตรฐาน ผลการทคสอบ คุณลักษณะทางไฟฟ้าของรูปคลื่น แรงคันและกระแสที่สร้างขึ้นจาก เครื่องกำเนิดรูปคลื่นผสมพบว่าสอดกล้องตามมาตรฐาน IEC 61000-4-5 ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน เครื่องกำเนิดรูปคลื่นผสมดังกล่าวนี้ สามารถใช้ บริการทคสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าในหัวข้อความเข้ากันได้ทาง แม่เหล็กไฟฟ้าหรือการทดสอบ อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้

PW 048

เวลา 14:40 – 15:00 น.

การจัดสรรค่าบริการการใช้งานระบบส่งสำหรับระบบการชื้องายไฟฟ้านอกตลาด วริษฐ์ อั้นทอง และ กุลยศ อุคมวงศ์เสรี

ในหลายๆประเทศ การแปรรูปกิจการไฟฟ้าส่งผลให้เกิดการ แข่งขันของผู้ให้บริการทั้งระบบ ซึ่งทำให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์โดยตรง โดยทั่วไป ในการส่งพลังงานไฟฟ้าระหว่างผู้ซื้อและ ผู้ขายจะด้องมีการใช้ งานระบบส่งซึ่งจะก่อให้เกิดค่าใช้ง่ายขึ้น การกิดค่าบริการส่วนนี้จะต้อง ดำเนินการอย่างโปร่งใส และเป็นธรรมกับทุกฝ่าย บทความนี้นำแสนอ วิธีการกิดค่าบริการ การใช้งานระบบส่ง โดยมีหลักการอยู่บนพื้นฐานของ วิธี Power Flow based MW-Mile ซึ่ง ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการที่มี ความยุติธรรมวิธีหนึ่ง โดยในบทความนี้จะนำเสนอการ ปรับปรุงวิธีการ ประมาณก่าการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง โดยคำนึงถึง ผลของ Convexity หรือก่าอนุพันธ์อันดับสองของกำลังไฟฟ้าด้วย ผลการ พิจารณานี้จะทำให้ การกำนวณมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น วิธีการที่ นำแสนอได้ถูกทดสอบกับระบบ IEEE-30bus ผลลัพธ์ที่ได้ เป็นที่น่าพอใจ

วันพฤหัสบดีที่ 29 ตุลาคม 2552 เวลา 15:20 น.–17:20 น.

ห้อง **Convention A**

ประธานกลุ่มย่อย ผศ.ดร.อาทิตย์ โสตรโยม

PW 049

เวลา 15:20 - 15:40 น.

Solving Optimal Power Flow problem using Bee Algorithm

Chaimongkol Chokpanyasuwan, Prakornchai Polratanasuk, Sumeth Anantasate and Nopporn Leeprechanon

This paper presents a new application of the Bee algorithm (BA) optimization algorithm for solving the optimal power flow (OPF) problem with various constraints. The proposed methodology is evaluated on IEEE 30-bus test system which minimizes the total fuel cost considering operational constraints i.e. power flow equations, generation constraints, transformer constraints and security constraints. The results obtained using the proposed approach is compared with results of other optimization methods. Simulation results demonstrate that Bee algorithm provides better results than other heuristic techniques.

PW 050 เวลา 15:40 – 16:00 น.

ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีต่อแรงดันและตัวประกอบกำลังในระบบ จำหน่าย

กริช ยิ้มชื่น และ กลยศ อคมวงศ์เสรี

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของการติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กใน ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล โดยจะ พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองชนิด คือ เครื่องกำเนิด ้ไฟฟ้าแบบ เหนี่ยวนำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส จากนั้นจะทำการ เปรียบเทียบ ผลกระทบของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองชนิดที่มี ต่อแรงดันและตัวประกอบ ้ กำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ระบบตัวอย่างที่ ใช้ในบทความนี้ เป็นระบบท่าทรายซึ่งเป็นส่วน หนึ่งของระบบไฟฟ้าของ การไฟฟ้าส่วนภมิภาค ผลการทคสอบพบว่า หากไม่มีการติดตั้ง ้อปกรณ์ ชดเชยกำลังรีแอกทีฟในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ การขนาน เครื่องกำเนิด ้ไฟฟ้าชนิดนี้ในระบบจำหน่าย อาจจะทำให้ระบบมีคุณภาพ ในแง่ของแรงคัน และตัว ประกอบกำลังแย่ลงได้

PW 051

เวลา 16:00 – 16:20 น.

Electromagnetic Compatibility Coupling of Train Control System in Mass Transit **Railway System**

Suprawat Ruangkam and Vijit Kinnares

Analysis and measurements of Electromagnetic Compatibility (EMC) was performed on a mass transit car with two Automatic Train Control (ATC) systems in the same railway and trains. The train was composed with early existing ATC system and new ATC system. The test measure between 1 to 30 MHz of voltage, current and magnetic filed (H-filed) and their value showed the significant data which disagree with the assumption of Electromagnetic Interference (EMI) between both system from their apparatus. The test was located on 368 meter long track circuit in Bangkok depot, Thailand.

มหาวิทยาลัยสยาม

PW 052

เวลา 16:20 – 16:40 น.

An Application of Ant Colony Optimization to Transmission Expansion Planning with Security Constraints

ประเสริฐ ลิ่มสกุล, ศราวุธ โพธิยา และนพพร ลีปรีชานนท์

This paper proposes an application of Ant Colony Optimization (ACO) to solve a Static Transmission Expansion Planning (STEP) problem with security constraints based on DC power flow model. The major objective is to minimize the investment cost of transmission lines that should be added to an existing network in order to supply the forecasted load as economically as possible subject to physical and economic constraints. To appraise the achievability of ACO, a traditional systems i.e. the Garver's six-bus system is applied to test the proposed method. The experimental results obtained by ACO are compared to those obtained by the conventional approaches i.e. Genetic Algorithm (GA) in term of solution quality and computational efficiency. The results show that the ACO method outperforms other methods in terms of convergence characteristic and good computation efficiency.

Keywords: Ant colony optimization, Genetic algorithm, Optimization, and Transmission expansion planning

PW 053 เวลา 16:40 - 17:00 น.

Determination of the Optimal Static Var Compensator Placement for the Maximum Available Transfer Capability of a Considered Area

บงกช สขอนันต์

This paper presents a method for determination of the optimal siting and sizing of the Static Var Compensator (SVC) to maximize the Available Transfer Capability (ATC) of a considered area. In this paper, the ATC is calculated by using the AC distribution factor and the optimal SVC placement problem is solved by using the Differential Evolution (DE) technique. It is found that the method provides more computational efficient with a sufficient degree of solution accuracy when it is compared to the other ATC calculation methods. Therefore, this method is considerably good alternative for the optimal placement of SVC determination.

PW 054

เวลา 17:00 - 17:20 น.

การเปรียบเทียบโมเดลนวรอลเน้ทเวิร์คในการจำแนกรูปแบบดีสชาร์จบางส่วน เพทาย นิ่มสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเคช, สุรินทร์ คำผอย

้บทความฉบับบนี้นำเสนอการเปรียบเทียบโมเดลนิวรอลเน็ทเวิร์คสำหรับการจำแนกรปแบคีส ชาร์จบางส่วน 4 โมเคล MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN จำแนกรูปแบบคืสชาร์จบางส่วน 5 ประเภท ได้แก่ โรโรน่าด้านแรงดันสูง (HV), โคน่าด้านแรงดันต่ำ(LV), ดีสชาร์จตามผิว (SF), ดิสชาร์จภายใน(IN), และดีสชาร์จภายในแบบทรีอิ้ง(TR) จากผลการทดสอบโมเดลที่ ออกแบบทั้ง 4 โมเคลในกานทำนายรูปแบบคิสชาร์จบางส่วน 40 ข้อมูล พบว่า โมเคล MLP มี ความถูกต้อง 95%, โมเคล PCA-MLP มีความถูกต้อง 95%, โมเคล PNN มีความถูกต้อง 62.5%, และ โมเคล PCA-PNN มีความถูกต้อง 95%

วันพฤหัสบดีที่ 29 ตุลาคม 2552 เวลา 15:20 น.–17:20 น.

ห้อง Convention B ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง

PW 055

เวลา 15:20 – 15:40 น.

Harmony search algorithm for optimal cost reduction in power generation system integrating wind energy conversion system

Sukayapong Ngonkham and Panhathai Buasri

This paper presents an optimization approach, Harmony search algorithm (HS) to solve Economic dispatch (ED) problem in the power system integrating Wind energy conversion system (WECS). Three optimization techniques, Genetic algorithm (GA), Interior point methods (ITP) and HS are used to simulate and compare. From the simulation, HS has better solution than GA 4% and better than ITP 1.4%. Moreover total cost reduction when the system connected to WECS computed by HS is reduced to 8% per day.

PW 056 เวลา 15:40 - 16:00 น.

การปรับปรุงการควบคุมแรงบิดโดยตรงสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฟส เดียว

ธวัช ชูชิต และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์

บทความนี้ได้เขียนวิธีแก้ไขการควบคุมแรงบิคโดยตรงสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ เหนี่ยวนำเหสเดียว วิธีการที่นำเสนออยู่บนพื้นฐานแบนการควบคุมและพัฒนาแรงบิค โดยตรงแบบ ฮีสเตอร์รีซีส 6 เซกเตอร์แบบคังเดิม การแก้ไขในบทความนี้ได้แสดง 2 วิธีการ ควบคุมเรียกว่า 6 เซกเตอร์แบบปรับปรุงและ 12 เซกเตอร์ ตามลำคับ ตารางสวิตซ์ได้มาจาก พื้นฐานากรขับเคลื่อนที่ให้กำเนิคเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคอินเวอร์เตอร์สองเฟส สามขา ผลการจำลองผลสามารถวิเคราะห์และปฏิบัติตามคังที่ได้นำเสนอไว้

PW 057 เวลา 16:00 – 16:20 น.

การประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทาน ดิน

ขวัญชัย นอแสงศรี และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์

บทความนี้นำเสนอวิธีการในการสร้างแนที่ก่าสภาพความด้านทานดิน ค่าสภาพความ ด้านทานดินเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่ง ที่ใช้ประกอบในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ไฟฟ้า ข้อมูลของก่าสภาพความด้านทานดินเป็นประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงานของวิศวกร ในระบบไฟฟ้า เพื่อนใช้ประโยช์ในการก่อสร้างระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ใน บทความนี้ใช้พื้นที่ทดสอบประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร จากภาพถ่ายดาวเทียม Lasdsat7 ใช้ โปรแกรม ENV1 ประกอบกับข้อมูลก่าสภาพความด้านทานดินที่ได้จากาการวัดภาคสนาม โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแบบ supervised classification ชนิด maximum likelihood ซึ่งภาพ ที่ได้จากการผสมแบนด์ 7, 5 และ 3 มีความถูกต้องที่ได้มากที่สุดคือ 85.71%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

PW 058

เวลา 16:20 – 16:40 น.

Simulation of Volt-Time Characteristics of Rod-Rod Gaps under Lightning Impulse Voltages

วาณิช ขนอม และ ชาญณรงค์ บาลมงคล

This article presents the simulation of volt-time characteristics of 10-cm and 20-cm rod-rod gaps under 1.2/50-µs standard lightning impulse voltage and 1.2/4-µs short-tail lightning impulse voltage of both polarities. The easy integration model of Noranut is applied to simulate the volt-time characteristics and compared with the experimental results as well as the results simulated by the complicate integration models of Chowdhuri and Kind.

PW 059

เวลา 16:40 – 17:00 น.

การหากระแสฮารั่มอนิกและกระแสรีแอคทีฟโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไป ข้างหน้าสำหรับวงจรกรองกำลังแอคทีฟ

เอกวิทย์ หายักวงษ์ วิจิตร กิณเรศ

บทความนี้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียม แบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นเพื่อใช้หากระแส ฮาร์มอนิก และกระแสรีแอคทีฟสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรกรองกำลังแอคทีฟแบบ ขนานหนึ่งเฟส เพื่อจ่ายกระแสชดเชยให้กับระบบที่มีโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้คุณภาพ กำลังไฟฟ้าของระบบดีขึ้น ผลการทดสอบกับเครื่องด้นแบบจะถูกนำเสนอ โดยระบบทั้งหมด ถูกกวบกุมและประมวลผลโดยใช้ดัวกวบกุมสัญญาณดิจิตอล (DSC)

PW 060

เวลา 17:00 – 17:20 น.

Miscalculations of Fault Location due to Behave of Simultaneous Fault in Electrical Power Transmission System Using Discrete Wavelet Transform.

เสาวลักษณ์ สุรีสุนทร และ อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล

This paper presents miscalculations of fault location due to behave of simultaneous fault in an electrical power transmission system. The fault is simulated using PSCAD/EMTDC and the analysis of signals is performed using discrete wavelet transform (DWT). The variation of high frequency components of positive sequence current signals in the end of transmission line is considered. The results obtained from the analysis are used in order to locate faults. The results show that the traveling wave theory based fault location methods cannot locate simultaneous fault in an electrical power transmission system. ห้อง Sri Prachin

ประธานกลุ่มย่อย อ.ไชยพร หล่อทองคำ อ.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

PW 061 เวลา 15:20 – 15:40 น.

การศึกษาเทคนิคการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่บัส 115 kV ของโรงไฟฟ้าโกลว์เพื่อการใช้พลังงาน อย่างมีประสิทธิภาพ

จำรัส ศรีระษา. นราคล โชติวรรณพร และ พิชิต ลำยอง

บทความนี้นำเสนอเทคนิคในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่บัส115 kV ของโรงไฟฟ้าโกลว์เพื่อให้ การใช้พลังงานในการเดินเครื่องจักรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่บัสแรงคันไฟ 115 kV ต่ออยู่ ระหว่างบัสแรงคันไฟฟ้า 230 kV ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส สามเฟส ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าปรับแท็ปได้ขณะจ่ายภาระ บัสแรงดันไฟฟ้า 115 kV สามารถ ้ควบคุมได้โดยการปรับแท็ปของหม้อแปลงหรือกระแสกระตุ้นสนามแม่เหล็กของเครื่องกำ เนิด ้ไฟฟ้าซิงโครนัส ท้ายสุดกำลังงานที่จ่ายให้กังหันขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตำแหน่งแท็ปต่างๆและ กระแสกระคุ้นสนามแม่เหล็กดังแสดงในบทความนี้และเปรียบเทียบเกี่ยวกับการใช้พลังงานใน หนึ่งหน่วยการผลิตของโรงจักรไฟฟ้าขนาคพิกัค 50.8 MVA อย่างมีประสิทธิภาพ

PW 062

เวลา 15:40 – 16:00 น.

Effects of Series Compensation in Long Transmission Line on Distance Relay Operation กฤษณะ วิฒิรณประเสริฐ, ชัยยุทธ์ สัมภวะคุปต์, วรายุทธ คัมภีราวัฒน์ และทรงศักดิ์ ชุษณพิพัฒน์ This paper presents Effects of Series Compensation in Long Transmission Line on Distance Relay Operation. Normally, relay operation is considerably sensitive to the changing of network structure. The additional installed equipment also cause malfunction of relay. Then the relay detection of abnormalities on the distributor system does not meet the original setting value. The installation of Series Compensation in the network is one of the serious problems which cause relay missing operation. This research studied the effects caused by the installation of Series Compensation Compared with the normal case. The approach is to consider the relay setting to accurately detect abnormal case.

PW 063

เวลา 16:00 – 16:20 น.

ผลกระทบของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ไฟฟ้าของประเทศไทยที่ระดับแรงดัน 33 kV

กนธี จารุมา วรวัฒน์ ตั้งศรีอนุกูล เชาว์ ชมภูอินไหว ชาย ชมภูอินไหว

บทกวามนี้เป็นการจำลองติดตั้งฟาร์มกังหันลมขนาด 9 MW เข้ากับระบบจำหน่ายทางภากใต้ของ ประเทศไทย ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 33 kV โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมชนิดดับบลิเฟด อินดักชั่นเจนเนอเรเตอร์ (DFIG) ขนาด 1.5 MW โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบใน สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เกิดจากการควบคุมการทำงานของกังหันลมที่ค่าองค์ประกอบ ้ กำลังต่างๆและทำการเปรียบเทียบผลกระทบของการติดตั้งกังหันลมในตำแหน่งที่แตกต่างกันใน ้วงจรสายป้อนของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 33 kV. นอกจากนี้จะทำการพิจารณา ระบบในสภาวะชั่วขณะและพลวัด (Transient and Dynamic) เมื่อติดตั้งฟาร์มกังหันลมแบบมี ้ควบคุมการทำงานเป็นแบบ Leading Power Factor 0.9 ซึ่งผลการจำลองติดตั้งกังหันลมในพื้นที่ ้ศึกษาพบว่าระบบยังคงรักษาเสถียรภาพอยู่ได้และการควบคุมการทำงานของกังหันลมให้มี ประสิทธิภาพสงควรจะมีควบคมแบบ Unity Power Factor และติดตั้งกระจายตามบริเวณกล่ม ์ โหลดในบริเวณพื้นที่กลางสาขทั้งนี้เพื่อให้ระบบได้รับผลกระทบน้อยน้อยที่สดและช่วยลดกวาม สณเสียกำลังไฟฟ้า

PW 064 เวลา 16:20 – 16:40 น.

การศึกษาเสถียรภาพระบบกำลังไฟฟ้าภาคตะวันออกของประเทศไทยและข้อเสนอแนะเพื่อ ระบบการป้องกันพิเศษสำหรับนำระบบกลับคืนสู่สภาวะปรกติ ชัยสิทธิ์ วันน้อย คุสิต สุขสวัสคิ์ เชาว์ ชมภูอินไหว ชาย ชมภูอินไหว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

. บทความนี้น้ำเสนอการศึกษาเสถียรภาพในสภาวะคงตัวและสภาวะทรานเซียนส์ของระบบ กำลังไฟฟ้าภาคตะวันออกของประเทศไทยและข้อเสนอแนะสำหรับระบบการป้องกันแบบพิเศษ (Special Protection System, SPS) ในการนำระบบกลับคืนสู่สภาวะปรกติจากผลกระทบที่มีต่อ ความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า โดยจะเน้นทำการศึกษาในกรณีสายส่งที่ระดับแรงดัน 500 kV ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบกำลังไฟฟ้าภาคตะวันออกถูกปลดออกหรืออยู่ในระหว่างการซ่อม บำรุง และกรณีที่มีฟอล์ตรบกวนอย่างรุนแรงเกิดขึ้นในสภาวะที่สายส่ง500 kV ถูกปลดออก โดย จะเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระบบในสภาวะปรกติและในสภาวะที่ระบบมีภาวะฟอล์ตรบกวน ซึ่งการเปรียบเทียบผลในสภาวะทรานเซียนส์นั้นจะมีหัวข้อในการเปรียบเทียบคือเสถียรภาพมม ้โรเตอร์ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพบว่าระบบการป้องกันพิเศษที่นำเสนอนั้น สามารถช่วยบรรเทาและลดผลกระทบด้านเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อระบบเกิดภาวะ ฟอล์ตรบกวนได้

PW 065

เวลา 16:40 – 17:00 น. การออกแบบและสร้างหม้อแปลงเทสล่าโดยใช้เทคนิคฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ อุคม พรหมศรีจันทร์ นรงฤทธิ์ เสนาจิตร และ ไชยพร หล่อทองคำ

้บทความฉบับนี้นำเสนอหลักการออกแบบหม้อแปลงเทสล่า โดย ใช้วงจรฟลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ในการสร้างความถี่สูงแทนหลักการ ทำงานเดิมที่ใช้การสปาร์กผ่านแกปและการออสซิลเลชั่นที่ วงจร LC จาก หลักการข้างต้นทำให้สามารถออกแบบหม้อแปลงเทสล่า 35 kV เพื่อใช้ ในการ ทดสอบอปกรณ์ทางไฟฟ้า วงจรอินเวอร์เตอร์ใช้มอสเฟต IRFP- 460 เป็นสวิตช์ และใช้การ ควบคมสัญญาณด้วย TL-494 ให้กับมอสเฟต ในขณะสวิตช์ ความถี่การสวิตช์ของมอสเฟต สามารถควบคุมการทำงาน อยู่ในช่วงความถี่ที่ 30-200 kHz ด้านแรงดันต่ำ หม้อแปลงเทสล่าที่ นำเสนอจะสะควกต่อการเกลื่อนข้าย มีขนาดที่เล็กลงน้ำหนักเบาและมี ประสิทธิภาพ

PW 066

เวลา 17:00 – 17:20 น.

การประยุกต์หาค่าเหมาะสมของฝูงอนุภาคสำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้า กำลัง

พัฒนะ อิงคะวะระ และ ชาย ชมภอินไหว

บทกวามวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำนายการจ่ายโหลดอย่าง ประหยัดระหว่างเกรื่องกำเนิดไฟฟ้า ภายในโรงจักรไฟฟ้าและการจ่ายโหลด อย่างประหยัดระหว่างโรงจักรไฟฟ้า ซึ่งปัญหาการจ่าย โหลดอย่าง ประหยัดระหว่างโรงจักร ในบทกวามนี้มีเงื่อนไขก่ากำลังสณเสียในระบบ ส่ง (Transmission Losses) รวมอยู่ด้วยโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของ ฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ซึ่งจะทำนายการจ่ายโหลด อย่างประหยัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ ละหน่วยหรือของโรงจักรแต่ละ แห่งในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลโรงจักรไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า 3 ตัว เป็นข้อมูลที่นำมาทำกทคสอบ.

PW 067 เวลา 17:20 – 17:40 น.

การวัดหาค่าพารามิเตอร์ของชุดอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องผลิตก๊าชโอโซน

ประสพโชค โห้ทองคำ และ วิจิตร กิณเรศ

บทกวามนี้นำเสนอวิธีการวัดหาก่าพารามิเตอร์ของชุดอิเล็กโทรคที่ ใช้สำหรับเกรื่องผลิตก๊าซ โอโซน โดยการแทนชุดอิเล็กโทรคด้วยวงจร สมมูลทางไฟฟ้า คือ ตัวเก็บประจุไฟฟ้างนานกับ ตัวด้านทาน การทดสอบ ทำได้โดยการง่ายแรงดันไฟฟ้าสูงกวามถี่สูงให้กับชุดอิเล็กโทรดทำให้ ้ได้ กราฟความสัมพันธ์คุณลักษณะระหว่างแรงดันไฟฟ้าและประจุไฟฟ้า นำไปสู่การคำนวณหา ้ ก่าความด้านทานและตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ต่อขนาน กันอยู่ แล้วมีการทดสอบความเป็นไปได้ของ ค่าที่ได้ด้วยการจำลอง เปรียบเทียบกับการทดลอง ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าวงจรสมมูลทางไฟฟ้านี้ สอดกล้องกับการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแหล่งจ่าย ไฟฟ้าและชด อิเล็กโทรค เพื่อใช้กับเครื่องผลิตก๊าซโอโซนต่อไป

ห้อง Convention A ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.ไพศาล บุญเจียม

PW 068

เวลา 08:20 – 08:40 น.

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ STATCOM เพื่อเพิ่มความสามารถทางเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้ า สมภพ กนกบรรณกร และ กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

เนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมืองและของอุตสาหกรรม ทำให้มีความ ้ต้องการใช้กำลังไฟฟ้ าเพิ่มสูงมากขึ้น การวางแผนการผลิต กำลังไฟฟ้ าอย่าง เดียวอาจไม่สามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างรวดเร็วได้ ้อย่างไรก็ตาม การใช้สายส่งอย่างมีประสิทธิภาพช่วยเพิ่ม ความสามารถใน การส่งกำลังไฟฟ้ าไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้ าได้มากขึ้น อุปกรณ์ STATCOM เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถควบคุมแรงคันได้ ทำให้เรา ้สามารถใช้สายส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น บทความนี้ได้ นำเสนอ ้วิธีการประยกต์ใช้อปกรณ์ STATCOM เพื่อเพิ่มความสามารถ ทางค้าน เสถียรภาพแรงคันไฟฟ้ าของระบบ โดยนำเอาข้อดีของอุปกรณ์ STATCOM ในการควบคุมแรงดันและการชดเชยกำลังรีแอคทีฟ ทำให้ เพิ่มความสามารถทางค้านเสถียรภาพแรงคันได้สูงขึ้น วิธีการที่นำเสนอ ถูก ทคสอบค้วยระบบทคสอบมาตรฐาน 30 บัส ได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ

PW 069 เวลา 08:40 - 09:00 น.

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตแบบ แวน เดอ กราฟฟ์ ขนาด 600 กิโลโวลต์ พีรพล จิราพงศ์

บทความนี้นำเสนอการออกแบบ และจัดสร้างเครื่องกำเนิคไฟฟ้าสถิดแบบ แวน เดอ กราฟฟ้ ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 600 kV เพื่อนำไปใช้สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยประจุ ไฟฟ้าสถิด และนำไปใช้สำหรับการทดสอบวัสดุฉนวนไฟฟ้า โครงสร้างของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าสถิตประกอบด้วย อิเล็กโตรดทรงกลมผิวขัดเรียบทำจากสแตนเลส สายพานทำจากผ้า ในลอน โรลเลอร์ดัวล่างและโรลเลอร์ดัวบนทำจากพอลิเอทิลีนและซุปเปอร์ลีนดามลำดับ ลำตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตสำหรับวางอิเล็กโตรดทำจากท่อพีวีซี โดยเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าสถิต อาศัยหลักการทำงานพื้นฐานจากการเสียดสีกันระหว่างสายพานกับโรลเลอร์ดัว ล่าง เพื่อทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นที่สายพาน จากนั้นประจุไฟฟ้าจะถูกลำเลียงผ่านสายพาน และโรลเลอร์ดัวบน นำไปเก็บสะสมไว้ที่อิเล็กโตรดโลหะทรงกลมกลวง ซึ่งจะทำให้เกิด ศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูงขึ้นผลจากการทดสอบพบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตที่ได้สามารถสร้าง แรงดันไฟฟ้าใด้ 600 kV และมีก่ากระแสไฟฟ้าต่อเนื่องสูงสุด 6.5 µA

PW 070

เวลา 09:00 – 09:20 น.

Sizing Design and Power Quality Impact of Photovoltaic Distributed Generators in a Distribution System Using a Probabilistic Approach

Vichakorn Hengsritawat, Thavatchai Tayjasanant and Natthaphob Nimpitiwan

This paper presents a probabilistic approach to design the sizing of photovoltaic distributed generator (PV-DG) in a distribution system. The objective is to maximize the power produced by PV-DG installation by taking into account system losses, while the voltage profile is kept at an acceptable level and the total harmonic voltage distortion (THDv) at the point of common coupling (PCC) should not exceed the limit. The Monte Carlo technique is used to predict solar radiation (or so-called irradiance), ambient temperature and load. The PV-model with the maximum power point tracking (MPPT) technique is used to find the maximum power output under a given temperature and irradiance. A modified Newton

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

and a classical harmonic flow method are used to analyze the power flow and the THDv values, respectively. The method is tested on an actual 51-bus medium voltage distribution system in Thailand. The results demonstrate that the probabilistic approach performs well to obtain the sizing of PV-DG based on technical constraints. In addition, PV-DG in a realistic case is likely to improve the voltage profile and decrease losses on a distribution system, but increase THDv values at PCC.

PW 071

เวลา 09:20 – 09:40 น.

Impact on Protection Coordination in the Presence of Grid-Connected Photovoltaic Systems in a Distribution System

Seihakkiry Rann, and Thavatchai Tayjasanant

This paper presents impacts of fault current on protection coordination when grid-connected photovoltaic (GCPV) system is installed in a distribution system. Modeling of the GCPV is based on a PV model described by Shockley diode equation with a series resistance, a boost converter with maximum power point tracking (MPPT) technique, and a PWM inverter with a voltage regulator. The real-time simulation is tested using the MATLAB-SIMULINK. GCPV systems with various penetration levels of the total load were installed at various nodes in the system. Various fault positions were assumed to assess the fault current contribution from the GCPV systems to the main grid. Result comparison between the system with and without PV installation is discussed. Impacts of fault current contribution on protection coordination are considered based on IEEE Std C37,112-1996.

PW 072 เวลา 09:40 - 10:00 น.

การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคแบบชาญฉลาดในการประมาณสถานะ ของระบบไฟฟ้ากำลัง

วรายุทธ คัมภีราวัฒน์ และ ชัยยุทธ์ สัมภวะคุปต์

บทความนี้นำเสนอการประชุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ด้วยเทคนิคชาญฉลาดสำหรับ การประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง เทคนิคชาญฉลาดที่นำมาใช้คือวิธีการหาค่า เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และวิธีจีนเนดิก อัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA) และเปรียบเทียบผลกับการประมาณสถานะ โดยใช้วิธี ยกกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก ระบบที่ใช้ในการ ทดสอบได้แก่ระบบ IEEE 14, 30 และ 57 บัส ผลการทดสอบพบว่าใน สภาวะที่ระบบมีข้อมูลค่าวัดไม่เพียงพอ วิธีการหาค่า เหมาะสมที่สุดด้วย เทคนิคแบบชาญฉลาดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดแบบ ถ่วงน้ำหนัก

PW 073 เวลา 10:00 - 10:20 น.

Voltage Compensation of D-STATCOM by Using State Feedback Controller ชัยยุทธ์ สัมภาะคุปต์ และ ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์

This paper presents a voltage compensation in faulted power system using D-STATCOM controlled by state feedback controller. The test system with D-STATCOM installed at protected load bus has been simulated by use of transient model of D-STATCOM and state feedback control principle. The simulation results show that the DSTATCOM can tackle the problem of voltage sag at load bus due to fault by compensating the voltage magnitude to normal level.

วันศุกร์ที่ 30 ตุลาคม 2552 เวลา 08:20 น.–10:20 น.

ห้อง **Convention B** ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร

PW 074 เวลา 08:20 - 08:40 น.

ผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมต่อเสลียรภาพเชิงแรงดันของระบบส่งไฟฟ้า ใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

พิสิษฐ์พล จิรพงศานานุรักษ์ และ แนบบุญ หุนเจริญ

บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงแรงคันของระบบส่งไฟฟ้าในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยพิจารณาถึงผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าจาก พลังงานลมที่จะติดตั้งในบริเวณอำเภอเขาก้อ จังหวัดเพชรบรณ์ เปรียบเทียบสมรรถนะใน กรณีที่ใช้เทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก และแบบคุบลีเฟค ผลการ ทดสอบพบว่า ภายใต้การเพิ่มโหลดกำลังไฟฟ้าจริงอย่างต่อเนื่อง การผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน ้ถมโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกอาจทำให้เสถียรภาพเชิงแรงคันของ ระบบส่งไฟฟ้าแย่ลง ส่วนการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดูบลีเฟคไม่ส่งผลกระทบ ต่อเสถียรภาพเชิงแรงคันของระบบ

PW 075

เวลา 08:40 - 09:00 น.

COMPARATIVE ANALYSIS ON IMPACT OF SERIES FACTS CONTROLLERS APPLIED STRATEGIES ON SUBSYNCHRONOUS RESONANCE

Javad Sadeh and Iman Mohammad Hoseiny Naveh

The advent of series FACTS controllers, Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) has made it possible not only for the fast control of power flow in a transmission line, but also for the mitigation of sub-synchronous resonance (SSR) in the presence of fixed series capacitors. This paper presents a detailed analysis of the impact of TCSC control methodology on sub-synchronous oscillations (SSO) problem of series capacitive compensated transmission systems. The second IEEE benchmark model for the analysis of SSR phenomena is adopted. The impact of control methodology is also evaluated on the torsional modes. As a result it was shown that this applied strategy is powerful method for SSR damping. So TCSC can also damp SSO as shown in simulations. The proposed method is applied to the IEEE Second Benchmark system for subsynchronous resonance studies and the results are verified based on comparison with digital computer simulation by MATLAB.

PW 076

เวลา 09:00 - 09:20 น.

Impact of Current-Transformer Saturation on An Overcurrent Relav ภักดี สิทธิการ และ ชาญณรงค์ บาลมงคล

This article presents the impact of current-transformer saturation on an overcurrent relay. MATLAB/SIMULINK is used to simulate the saturation of current transformer. The simulation results are applied to an overcurrent relay via a relay tester in order to determine the tripping time of relay. It is found that the currenttransformer saturation results in a delay of tripping time.

PW 077

เวลา 09:20 - 09:40 น.

A Study of Coordinative Control for PSS's to Enhance Power Oscillation Damping in Multi-machine System

Chairerg Jakpattanajit and Naebboon Hoonchareon

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

In this paper coordination scheme is proposed to enhance the stability of power system network by tuning the parameters of coordinative control appropriately. Setting coordinative control input and weight parameters are used to reflect both the local and the inter area oscillation. Simulation results demonstrate that generator terminal voltages and powers oscillations are well damped when the coordinative control is used.

PW 078 เวลา 09:40 – 10:00 น.

The Analysis of the electric field value for finding the distance of high voltage cable XLPE type scale 12/20 (24) kV which has factor in the model of High Voltage Underground Cable Terminators XLPE ศุภวุฒิ เนตร โพธิ์แก้ว

This research has present about the analyst of the electric field value in the High Voltage Underground Cable Terminators XLPE peel for using in the measurement of the partial discharge (PD). Find the distance value in the peel of High Voltage Underground Cable before configure the High Voltage Underground Cable Terminator XLPE which is the most difficult in finding the correct distance. It is today main problem in configure the model of High Voltage Underground Cable Terminators XLPE and measure the partial discharge value. In the configure of High Voltage Underground Cable Terminators XLPE, it is the difficult to know the electric field stress that occur at bronze coil will effect anything in the analysis and testing of partial discharge. In testing the High Voltage Underground Cable XLPE is the necessary to know the side of voltage and the distance of the High Voltage Underground Cable XLPE before create the model and High Voltage Underground Cable Terminator XLPE. So that the High Voltage Underground Cable XLPE peel 12/20 (24) kV for testing should have the far distance of the peel between bronze coil and outside which is

the ground. This would protect the spark on the peel. This research has applied the COMSOL Multiphysics 33. Program and Matlab Program by using in calculate to find the distance of suitable Underground Cable. And it is a part of the study technical in analysis the electric field stress of the High Voltage Underground Cable XLPE which is the factor in creating the model for High Voltage Underground Cable Terminators XLPE

PW 079

เวลา 10:00 **-** 10:20 น.

Alleviation of Power Fluctuation in a Microgrid using SMES with Optimal Coil Size Cuk Supriyadi Ali Nanda, Issarachai Ngamroo, Jonglak Pahasa

In a microgrid system with wind and photovoltaic power generations, the intermittent power from these sources may cause a large power fluctuation. If the power fluctuation cannot be maintained in the acceptable range, system stability may be deteriorated. To compensate for such power fluctuation, a superconducting magnetic energy storage (SMES) can be applied. This paper proposes a design method of SMES power controller with optimal coil size. The structure of a power controller is the first-order lead-lag compensator. The optimization problem of controller parameters is formulated based on an enhancement of system damping and a minimization of coil size and coil current. The genetic algorithm is applied to achieve control parameters. Simulation results confirm the control effect of the SMES with small energy capacity against various disturbances.

วันศุกร์ที่ 30 ตุลาคม 2552 เวลา 08:20 น.–10:20 น.

ห้อง Sri Prachin ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.ณัฐภพ นิ่มปิติวัน

PW 080

เวลา 08:20 – 08:40 น.

Microgrid Stabilization using Controllable Aqua Electrolyzer & Fuel Cell based on Bee Colony Optimization of Fuzzy Logic-PID controller

Theerawut Chaiyatham, Issarachai Ngamroo, Sitthidet Vachirasricirikul

Due to the intermittent power generations from wind and photovoltaic in the microgrid, these result in the power fluctuation. To suppress power fluctuation, the coordinated controls of aqua electrolyzer (AE) and fuel cell (FC) can be applied as the controllable distributed generations. In this paper, a bee colony optimization (BCO) is proposed to design the optimal fuzzy logic based-proportional-integral-derivative (FLPID) controller of AE and FC. Without trial and error as in the conventional FLPID controller design, scale factors, membership functions and control rules of the optimal FLPID controller are automatically and simultaneously tuned by the BCO. Simulation results confirm the superior effect of the proposed optimal FLPID controller in comparison with the conventional FLPID controller.

PW 081 เวลา 08:40 - 09:00 น.

การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้าตอนที่ 1 นรเศรษฐ พัฒนเคช ภูษิต ถึงสุข และศรัณย์ ชีวทวีทรัพย์

บทความนี้นำเสนอวิธีการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะทาง ไฟฟ้าของด้วนำล่อฟ้าที่ทำมา จากวัสดุ และมีรูปทรงที่แตกต่างกันได้แก่ ด้วนำล่อฟ้าแบบปลายแหลม ปลายมนที่ขนาด ต่างกัน ทำมาจากทองแดง อลูมิเนียม และเหล็กกล้า ภายใด้แรงดันกระแสตรงขั้วลบ แรง ดันอิมพัลส์ ขั้วบวกและแรงดันอิมพัลส์ขั้วลบ จากผลการทดสอบพบว่า ลักษณะ รูปทรง และ มิติตลอดจนชนิดของวัสดุที่นำมาทำล่อฟ้า มีผลอย่างมากต่อ แรงดันเบรกดาวน์ โดยตัวนำล่อ ฟ้าทองแดงปลายแหลม ทำให้เกิดเบรก ดาวน์ผ่านอากาศได้ง่าย ในกรณีของด้วนำล่อฟ้า อลูมิเนียม ตัวนำล่อฟ้า ปลายมน มีความสามารถต่อการสร้างสตรีมเมอร์ ได้ดีกว่าชัดเจน ภายใต้ แรงดันกระแสตรง และมีความสามารถใกล้เกียงกับด้วนำล่อฟ้าปลาย แหลมภายใต้ แรงดันอิมพัลส์ทั้งสองขั้ว และพบว่าตัวนำล่อฟ้าอลูมิเนียม ขนาด 16 มม มีแนวโน้มที่จะเกิด เบรกดาวน์ได้ง่ายที่สุด เมื่อเปรียบเทียบ กับตัวนำล่อฟ้าอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลางอื่นๆ

PW 082 เวลา 09:00 - 09:20 น.

การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้าตอนที่ 2 นรเศรษฐ พัฒนเคช ภูชิต ถึงสุข และครัณย์ ชีวทวีทรัพย์

บทความนี้นำเสนอวิธีการศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะทาง ไฟฟ้าและทางความร้อนของวัสอุที่ นำมาทำดัวนำล่อฟ้าแบบปลายแหลม ที่มีวัสอุด่างชนิดกันได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก เหล็กชุบทองแดง จากผลการทดสอบพบว่าทองแดงล้วนจะมีความด้านทานน้อยที่สุด และ เกิดเบรกดาวน์ได้ง่ายที่สุดเมื่อได้รับแรงดันทดสอบกระแสตรงขั้วลบ เปรียบเทียบกับด้วนำ ชนิดอื่นๆ ในกรณีที่มีการเกลือบเหล็กด้วยทองแดง นั้นที่ความหนา 250 µm ให้คุณลักษณะ การเกิดเบรกดาวน์ที่ดี เมื่อ เปรียบเทียบความหนาอื่นๆ ที่เกลือบ และคุณสมบัติทางกวามร้อน ที่ กระแสสลับ 500 A เริ่มมีความเสียหายเล็กน้อยที่พอสังเกตเห็นได้บ้าง

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

PW 083 เวลา 09:20 - 09:40 น.

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการวางแผนงานบำรุงรักษาหม้อแปลงใน ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ศราวุฒิ วงค์เรือน และ พีรพล จิราพงศ์

บทความนี้นำเสนอการประชุกต์ใช้ระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ สำหรับการออกแบบและ สร้างฐานข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมถึงเสนอกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อ ใช้สำหรับการ จัดลำคับการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ าที่เหมาะสม โดยพิจารฉาจากก่า ความเชื่อถือได้ ก่ากวามเสียหายจากไฟฟ้าดับ และก่าใช้ง่ายในการ บำรุงรักษา

PW 084

เวลา 09:40 – 10:00 น.

Effects of Rf and Data Sampling Rate on Performance of One-terminal and Twoterminal Fault Location Algorithms

Wutthikorn Threevithayanon and Naebboon Hoonchareon

Accuracy performances of the One-terminal simple reactance and the Two-terminal fault location method according to IEEE standard C37.114-2004 [1] are compared by varying fault resistance and data sampling rate. Testing has been conducted using short circuit transient simulation for different types of faults, that is single line to ground fault, line to line fault, line to line to ground fault and balanced three phase fault. Effects of Rf and data sampling rate have been presented and will be used for improving performance of the fault location method thereafter.

PW 085 เวลา 10:00 - 10:20 น.

การศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบเร็กติไฟเออร์แบบ 18 พัลส์โดยใช้หม้อแปลงชนิดออ โต ในงานอุตสาหกรรม

วัฒนา แก้วมณี พนาฤทธิ์ เศรษฐกุล ปฏิพัทธ์ ทวนทอง

งานวิจัชนี้ทำการศึกษาความเหมาะสมของการนำระบบเรียง กระแสแบบ 18 พัลส์ โดยใช้หม้อ แปลงออโตไปใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีงานวิจัยก่อนหน้าระบุถึงข้อดีในด้านขนาดและ น้ำหนักของระบบ ดังกล่าวเมื่อเทียบกับระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้หม้อแปลงแบบซิกแซ็ก จาก การออกแบบ สร้างและทดลองพบว่าหม้อแปลงแบบออโตนั้นมีขนาด และน้ำหนักน้อยกว่า หม้อแปลงแบบซิกแซ็กมากกี่จริง แต่ระบบที่ใช้ หม้อแปลงแบบออโตอาจต้องการตัว เหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นในระบบอีกสองตัว เพื่อให้การทำงานยังคงเป็นแบบ 18 พัลส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะการต่อ ภาระ ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้จึงด้องคำนึงถึงลักษณะการต่อภาระด้วย

วันศุกร์ที่ 30 ตุลาคม 2552 เวลา 10:40 น. - 12:40น.

ห้อง Convention A ประธานกลุ่มย่อย ผศ.ดร.แนบบุญ หุนเจริญ

PW 086

เวลา 10:40 – 11:00 น.

Bee algorithm for solving various types of economic dispatch problem

Prakornchai Polratanasuk, Chaimongkon Chokpanyasuwan Saravuth Pothiya, Nopporn Leeprechanon

This paper presents a new application of Bee Algorithm Optimization (BA) to solve various types of Economic Dispatch (ED) problem. Complete ED problem formulation prohibited, operating zones, ramp-rate limits, and non-smooth or non-convex cost functions arising from the use of multiple fuels should be taken into consideration. To show its efficiency, the Bee algorithm is applied to solve various types ED problems of power systems. The simulation results obtained from the BA are compared to those achieved from the conventional approaches, such as simulated annealing (SA) genetic algorithm (GA), tabu search (TS) algorithm and particle swarm optimization (PSO). The experimental results show that the BA approach is able to obtain higher quality solution efficiently and faster computational time than the conventional approaches.

PW 087 เวลา 11:00 - 11:20 น.

การปรับปรุงสมรรถนะในการจำแนกประเภทการถัดวงจรในระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิชีการใช้ ส่วนประกอบถำดับ

ยสวินทร์ บุรีทาน วุฒิกร ตรีวิทยานนท์และ แนบบุญ หุนเจริญ

บทความนี้นำเสนอวิธีการเพิ่มความแม่นขำในการวิเคราะห์ประเภทการถัดวงจรในระบบส่ง ไฟฟ้าโดยการชดเชยผลของกระแสโหลดก่อนเกิดถัดวงจรร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการใช้ ส่วนประกอบถำดับ ทดสอบสมรรถนะโดยใช้ข้อมูลจากการจำลองการเกิดถัดวงจรและข้อมูล การถัดวงจรที่บันทึกได้ในระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผลการทดสอบ ยืนขันวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ประเภทการถัดวงจรได้เป็น อย่างดี

PW 088

เวลา 11:20 – 11:40 น.

ผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์มอนิกส์และย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำจาก แหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆของโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี

สุพิศ บุญรัตน์ และ เกียรติยุทธ กวีญาณ

บทความนี้นำเสนอผลกระทบของสัญญาณรบกวนข่าน ฮาร์มอนิกส์ และข่านอีเอ็มไอผ่านท่าง ด้วนำจากแหล่งจ่ายไฟแบบค่างๆ ของโคมไฟฟ้าแบบคววน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี โดย แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ มีทั้งหมด 4 แบบ คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าจาก แหล่งจ่ายไฟแบบเริงเส้น แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสแบบ บริดจ์เต็มลูกคลื่นชนิด ไดโอด และแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ แบบสวิตชิ่ง โดยผลการทดลองจะทำการ เปรียบเทียบค่าค่างๆ ทางไฟฟ้า สัญญาณรบกวนข่านฮาร์มอนิกส์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C standard หรือ TIS. 1506-2541 และสัญญาณรบกวนข่านอีเอ็มไอ ผ่าน ทางตัวนำ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CISPR-15 และ CISPR-16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PW 089

เวลา 11:40 – 12:00 น.

การประยุกต์ใช้งานโปรแกรมจำแนกประเภทความผิดพร่องในระบบส่งกำลังไฟฟ้าของ ประเทศไทย

ปณัสย์ สวัสคิ์พิพัฒน์ และ ธวัชชัย เตชัสอนันต์

บทความนี้ใด้นำเสนอกระบวนการจำแนกประเภทของ ความผิดพร่องบนสายส่งกำลังไฟฟ้า โดยใช้วิธีการตรวจสอบเงื่อนไขของ มุมและขนาดของกระแสความผิดพร่อง โดยจะมีการ ปรับก่าดัชนีให้ เหมาะสมกับระบบส่งกำลังไฟฟ้าของประเทศไทย โปรแกรมที่พัฒนาได้ ถูก นำไปทดสอบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในระบบส่งไฟฟ้าของ กฟผ. ซึ่งผลการทดสอบ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

PW 090 เวลา 12:00 – 12:20 น.

การประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบอาณานิคมมดในการวางแผนการขยายระบบไฟฟ้ากำลัง แบบรวม ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

พันธวัฒน์ กาญจนรัชตพงศ์ และ สมพร สิริสำราญนุกุล

บทความนี้นำเสนอการประชุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบอาณา นิคมมดซึ่งอ้างอิงจากการสังเกด พฤติกรรมของฝูงมดจริงในเรื่องของการ ตามรอยและวิธีการหาอาหารเพื่อประชุกต์ใช้กับการ วางแผนการขยาย ระบบซึ่งประกอบไปด้วยระบบสายส่ง สถานีไฟฟ้าย่อย และเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบบกระจายรวมเข้าด้วยกัน เป้าหมายของการวางแผนคือการระบุ หาทางเลือกที่ดีที่สุด ในการขยายระบบของโครงการเพื่อรองรับการเพิ่ม ของโหลดที่เพิ่มขึ้นในอนาคตโดยมี กำใช้งำยรวมต่ำ ที่สุดขณะที่ สอดคล้องกับเงื่อนไขบังกับของระบบ ทางเลือกในการวางแผน ใน โครงการประกอบไปด้วย สายส่ง สถานีไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย วิธีที่ นำเสนอนำมาทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 29 บัสที่จ่ายโหลดประเภทธุรกิจของย่าน ชูมชนใจกลางเมือง กรณีศึกษา แสดงให้เห็นว่ากำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบอาณานิกม มดให้ผลที่ ดีกว่ากำดอบที่กำนวณมาจากวิธีการกำจัดแบบถำดับขั้นเป็นอย่างมาก

PW 091 เวลา 12:20 – 12:40 น.

เทคนิคตรวจวัดผลตอบสนองไดอิเล็กตริกของฉนวนกระดาษจุ่มน้ำมันของหม้อแปลง โดยใช้ กระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน

อภิชาติ นิ่มเทียน¹, นรเศรษฐ พัฒนเดช¹, และ กฤษวัฒน์ ทองแกมแก้ว²

บทกวามนี้นำเสนอเทกบิคตรวจวัดผลดอบสนองไดอิเล็กตริก ของฉนวนกระดาษงุ่มน้ำมัน ของหม้อแปลง โดยใช้กระแสโพลาไรซ์เซ ชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน(PDC) วัสดุ ทดสอบคือเพรสบอร์ดที่มี ความชื้น 5.51 %, 3.65%, 1.69% และน้ำมันหม้อแปลงใหม่กับ น้ำมัน หม้อแปลงเก่าที่ผ่านการปรับปรุงสภาพ ถูกจำลองขึ้นมานำไปดิดตั้ง ณ ชุดทดลอง และ วัดด้วยวิธี PDC เพื่อสร้างโมเดลลิเนียร์ไดอิเล็กตริก สำหรับวัดผลตอบสนองไดอิเล็กตริก ผล การทดลองพบว่าฉนวนที่มี คุณภาพดีมืองก์ประกอบดังนี้ ก่าความนำกระแสต่ำ C ที่ 10-4 / C ที่ 50 Hz มี ก่าน้อย ก่าความสูญเสียไดอิเล็กตริก DDF ที่ 1Hz (%) มีก่าต่ำ และ เกิด แรงดัน ย้อนกลับสูงสุดที่ระยะเวลานานๆ

คำสำคัญ : ผลตอบสนองของไดอิเล็กตริก, โมเคลลิเนียร์ไคอิเล็กตริก,ฉนวนกระคาษจุ่มน้ำมัน , กระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน

วันศุกร์ที่ 30 ตุลาคม 2552 เวลา 10:40 น. - 12:40น.

ห้อง Convention B

ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์

PW 092 เวลา 10:40 – 11:00 น.

การศึกษากุณสมบัติของกระดาษณนวนจู่มน้ำมันที่มีผลของความชื้นของกระดาษ และความ เป็นกรดในน้ำมันภายใต้แรงดันกระแสสลับ

อภิชาติ นิ่มเทียน, นรเศรษฐ พัฒนเคช, และ กฤษวัฒน์ ทองแกมแก้ว

บทความนี้นำเสนอ การศึกษาคุณสมบัติของกระดาษณวน จุ่มน้ำมันที่มีใหม่และน้ำมันเก่าที่ ผ่านการปรับปรุงสภาพมาแล้ว วัสดุ ทดสอบคือเพรสบอร์ดที่มีความชื้น 5.51 % , 3.65%, 1.69% ถูกจำลอง ขึ้นมาและนำไปดิดตั้งในเทสเซลที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นในฉนวนกระดาษมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของก่าดงตัวของไดอิเล็ก ตริก ในกรณีการวัด ดิสชาร์จบางส่วนแรงดันดิสชาร์จเริ่มเกิด เมื่อความชื้น ในกระดาษมีมาก เกิดที่แรงดันก่า น้อยๆ แต่เมื่อความชื้นในกระดาษมี น้อย ตัวแปรที่สำคัญคือปริมาณกรดในน้ำมัน ซึ่ง สอดคล้องกับก่าความ คงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของฉนวนกระดาษขุ่มน้ำมัน ส่วน รูปแบบดิสชาร์จบางส่วนของฉนวนกระดาษจุ่มน้ำมัน จะมีความแตกต่าง กัน ตามเงื่อนไข ของวัสดุทดสอบนั้นๆ

PW 093

เวลา 11:00 – 11:20 น.

Study of result of Tesla Transformer from the changing Toroid size

ศุกวุฒิ เนตร โพธิแก้ว, ทง ลานธารทอง, สมเกียรติ ทองแก้วและ นิติพันธุ์ กุณประเสริฐ This research has present about the changing value of parameter inside the circuit of high voltage transformer (tesla). To study the effect that change in the circuit to conduce to analysis of the concern effect factor. This case is the study of changing the capacitance value in toroid from the high voltage coil or primary winding of tesla transformer by using the model of toroid which has difference capacitance value for study the factor and the effect in 4 examples. When test the changing capacitance value and the side of toroid in each sample, we would found that it could analyst the effect result that has change in directly of important of parameter in the tesla transformer clearly. For example: the size of output voltage and frequency. This case study in the research could bring to the study and important factor that has the effect of the changing voltage and frequency. For the configure model of tesla transformer or testing equipments by using the high voltage high frequency (tesla).

PW 094

เวลา 11:20 – 11:40 น.

การศึกษาการออกแบบสายเคเบิลใต้ดินที่ระดับแรงดันสูงสุดไม่เกิน 24 kV เพื่อแก้ปัญหาการ รองรับแรงทางกลภายหลังการติดตั้ง

นรเศรษฐ พัฒนเคช, อภิชาติ นิ่มเทียน, เพทาย นิ่มสนอง

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการออกแบบสายเลเบิลใด้ดินที่ ระดับแรงดันสูงสุดไม่เกิน 24 kV. เพื่อแก้ปัญหาจากการรองรับแรงทาง กลภายหลังการติดตั้ง โดยใช้ลักษณะมิติของสาย เลเบิลพิกัดแรงดันสูงสุด 24 kV. ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดตัวนำทองแดงขนาด 240 ตาราง มิลลิเมตร ชนิด CU/XLPE/PE เป็นข้อกำหนดเบื้องต้น และได้ทำการออกแบบสาย เกเบิลใด้ ดินด้นแบบขึ้นมา และทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงกวามร้อนของ สายเกเบิลได้ดินด้นแบบด้วย โครงสร้างสองมิติ และทำการศึกษา พฤติกรรมเชิงกอด้วยโครงสร้างสามมิติ เมื่อสายเกเบิลใด้ ดินได้รับแรง ทางกลในลักษณะต่างๆกัน ด้วยไปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดย กำหนดให้ก่า สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในสายเกเบิลด้นแบบจะด้องมีก่า ไม่มากกว่าเกเบิลเดิม ผลจากการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำลองพบว่าเมื่อใช้อากาศเป็นด้วพา ความร้อน สายที่ได้ทำการออกแบบจะมีการระบายความ ร้อนที่ดีขึ้น และ ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อมีการจ่ายกระแสสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาทางกล พบว่า จะมีความเครียดเฉลี่ยภายในสายต่ำกว่าสายที่มีการผลิตใช้ใน ปัจจุบัน

PW 095 เวลา 11:40 - 12:00 น.

ระบบตรวจวัดเซลล์แสงอาทิตย์แบบออนไลน์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

วุฒิไกร จำรัสแนว และ กิตติพงษ์ ต้นมิตร

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการตรวจวัดแรงดัน กระแส และอุณหภูมิของเซลล์ แสงอาทิตข์บนระบบอินเตอร์เน็ตแบบ real-time ซึ่งในงานวิจัขนี้ได้ทำการออกแบบระบบ ตรวจวัด กำทางไฟฟ้า และ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตข์โดยทำการออกแบบและสร้างวงจร ตรวจวัดแรงดัน กระแส และ อุณหภูมิ ทำการวัดก่าแล้วใช้ NI 6008 เพื่อ เชื่อมต่อและรับส่ง สัญญาณมายังกอมพิวเตอร์ซึ่งควบคุมโดยโปรแกรม Labview และจัดเก็บในรูปเท็กซ์ไฟล์ ระบบเก็บข้อมูลและเชื่อมต่อกับ ระบบอินเตอร์เน็ตออกแบบโดยใช้ PHP และ mySQL การ เชื่อมต่อกับ ระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำงานภายใด้ไปรโตกอลที่มีชื่อว่า ทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) ซึ่งเป็นตัวกลางในการสื่อสารและมาตรฐานอ้างอิงสำหรับการ สื่อสารซึ่งสามารถ รับส่งข้อมูลระหว่างสองจุด หรือหลายจุดที่อยู่ห่างไกล กันได้อย่างรวดเร็วอาศัยระบบ เครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยจะมีการอัฟเดท ก่าบนเกรือข่ายอินเตอร์เน็ตทุกๆ1นาที

PW 096

เวลา 12:00 – 12:20 น.

Study of winding to ground Fault in Power Transformer using Discrete Wavelet Transform

สฤษฏ์ครจ จันทร์เพิ่มพูนผล และอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล

This paper presents a learning of winding to ground fault signals in a power transformer using discrete wavelet transform (DWT). The fault is simulated using ATP/EMTP and the analysis of signals is performed using DWT. The variation of high frequency components of differential current signals is considered. The results obtained from the learning will be useful in the development of a detect fault scheme for power transformer in the future.

PW 097

เวลา 12:20 – 12:40 น.

พื้นฐานและตัวอย่างการประยุกต์การวิเคราะห์การวัดผลตอบสนองทางกวามถี่ของหม้อแปลง ภูชิต ถึงสุข นรเศรษฐ พัฒนเคช และกฤษวัฒน์ ทองแกมแก้ว

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลดอบสนองต่อความถิ่ของการ พันขคลวดด้วยโครงสร้างแบบ ง่าย ได้แก่ แบบชั้นและแบบจาน ซึ่งใช้ เป็นพื้นฐานในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อ แปลงออโด้แบบง่าย ได้ถูกจำลองขึ้นมาเพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองต่อความถิ่ใน สภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดความบกพร่องขึ้นมา ซึ่งสามารถตรวจสอบ ได้โดยการวิเคราะห์ ผลตอบสนองต่อความถิ่ขณะที่หม้อแปลงบกพร่อง เปรียบเทียบกับผลตอบสนองต่อความถิ่ ขณะหม้อแปลงเป็นปกติ ในการ ทดสอบภาคสนามกับหม้อแปลง 3 เฟสที่มีความบกพร่องที่ เฟส B ซึ่งเป็น หม้อแปลงที่ไม่ได้มีการเก็บผลตอบสนองต่อความถิ่ไว้ตั้งแต่ตอนต้น แต่ จาก ผลการทดสอบพบว่าสามารถที่จะวินิจฉัยความบกพร่องได้โดยดู เปรียบเทียบกับ ผลตอบสนองต่อความถิ่งองขดลวดเฟส A และ C แทน

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่32 (EECON-32) 28-30 ตุลาคม 2552 มหาวิทยาลัยมหิดล

ห้อง Sri Prachin ประธานกลุ่มย่อย อ.ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์

PW 098

เวลา 10:40 – 11:00 น.

Behavior of turn to turn fault in Power Transformer using Discrete Wavelet Transform

คร.อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล, สฤษ์โรจ จันทร์เพิ่มพูนผล และ อ.ชายชาญ โพธิสาร

The existence of a turn-to-turn short circuit may lead to an instantaneous large coil deterioration. However ground differential relays do not respond to turn-to-turn faults, when they are not associated to a ground fault. This paper presents a behavior of turn to turn fault signals in a power transformer using discrete wavelet transform (DWT). The fault is simulated using ATP/EMTP and the analysis of signals is performed using DWT. The variation of high frequency components of differential current signals is considered. The results obtained from the analysis will be useful in the development of a detect fault scheme for power transformer in the future.

PW 099

เวลา 11:00 – 11:20 น.

การศึกษาความบกพร่องของสายเคเบิลใต้ดินพิกัด 12/20(24) kV

นรเสรษฐ พัฒนเคช, เพทาย นิ่มสนอง, อภิชาติ นิ่มเทียน

บทความฉบับนี้นำเสนอการศึกษาหาสาเหตุความบกพร่องของสายเคเบิลได้ดินพิกัด 12/20(24) kV หลังจากการดิดตั้งใช้งาน โดยจำลองด้วยโปรแกรมไฟในเอลิเมนต์ และทดลอง ในห้องปฏิบัติการ ผลการจำลองความบกพร่องกรณีต่างๆด้วยโปรแกรมไฟในเอลิเมนต์ พบว่า กรณีmetallic shield และ insulation screen แตกเสียหาย มีความเครียดสนามไฟฟ้ามากที่สุด ในกรณีของ jacket ทะอุถึงชั้น metallic shield จะเกิดความเกรียดสนามไฟฟ้าสูงที่ค่าๆหนึ่ง ซึ่งหากเกิดพร้อมกับ insulationscreen บกพร่องด้วยก็เป็นสาเหตุให้สายเคเบิลเบรกดาวน์ได้ ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ในส่วนของการทดลองแรงดันเหนี่ยวนำพบว่าแรงดัน เหนี่ยวนำที่metallic shield แบบต่างๆ (มี insulation screen) มีก่าใกล้เกียงกัน และในกรณีที่ สายเคเบิลได้รับความเสียหาย metallic shieldแตกเป็นวงรอบ (ไม่มี insulation screen) จะเกิด การเบรกดาวน์ระหว่างรอยแตกนำไปสู่การเสียสภาพของการฉนวนเคเบิลได้ ในส่วนของการ ทดลองกระแสเหนี่ยวนำพบว่ามีกระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้นใน metallicshield เมื่อต่อครบวงรอบ แต่ถ้า metallic shield เกิดความเสียหายมีรอยแตกที่ทำให้วงรอบไม่ต่อถึงกันจะไม่เกิดกระแส เหนี่ยวนำทึ่น

PW 100

เวลา 11:20 – 11:40 น.

Determination of Optimal RTU Placement for State Estimation in PEA 115 kV Systems

สุภาวดี สุวรรณรัตน์ ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์

This paper presents an analytical method for determination of optimal RTU placement using Genetic Algorithms (GA). The resulted RTU placement scheme should employ the minimum number of RTUs, but yielding adequacy of measurements and good accuracy of state estimations. The proposed method is tested with the IEEE 14 bus, IEEE 30 bus and 115 kV Provincial Electricity Authority 49 bus systems. In addition, after the optimal RTU placement is obtained, the criticality of RTU placement is analyzed by assuming a loss of measurement and RTU unit for each location. The analysis results show that the obtained RTU placement has a major influence on the topology observability and accuracy of state estimation.

PW 101

เวลา 11:40 – 12:00 น.

การวิเคราะห์เทคนิคการออกแบบสำหรับวงจรกรองความสี่ในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ปฏิวัติ บุญมา และ วีระเชษฐ์ ขันเงิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลชัญบุรี

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับ การวิเคราะห์เทคนิลการรวมตัว เหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและ โหมดผลต่างเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการ ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ปริมาตรเท่ากับ ขนาดของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมเพียงดัวเดียวเท่านั้น สำหรับวงจร กรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วม และโหมดผลต่างมี สาม รูปแบบ ได้แก่ การพันตัว เหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมด ผลต่างแบบทั่วไป ในที่นี้เรียกว่า การพันแบบ CM แบบที่สอง คือ การพันตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า โหมดผล ร่วมและโหมดผลต่างแบบ ICM ในที่นี้เรียกว่าการพันแบบ ICM และ แบบที่สาม คือ การพันตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง แบบ PICM ในที่นี้เรียกว่าการ พันแบบ PICM โดยจะทำการวิเคราะห์ตัว เหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง และนำมาประยุกด์ใช้กับ วงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งอชิบายการเกิดและ วิเคราะห์สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำโดยแยกเป็น โหมดผลร่วมและโหมด ผลต่าง และตัวเหนี่ยวนำแบบใหม่ที่เสนอ สามารถนำไปใช้ในวงจรกรองสัญญาณรบกวน แม่เหล็กไฟฟ้า

PW 102 เวลา 12:00 – 12:20 น.

Dual Magnetodiode

สุเมธ จันทร์แกมแก้ว และ เติมพงษ์ เพ็ชรกูล

This paper presents a new magnetodiode which the structure composes of two coupled diodes. One type terminal is common and the another one is symmetrical separated. We have designed and fabricated devices and measured the magnetic response. The mechanisms are mainly carrier deflection of injected carrier from the common terminal by forward biasing toward to the separated terminal. When magnetic field is applied perpendicular to the device surface, the current difference caused by Hall effect and Lorentzf's farce is linearly changed with the magnetic field density at any applied current. It can detect both the direction and magnitude of magnetic field.

PW 103

เวลา 12:20 – 12:40 น.

The Study of Unit Step Response of an Impulse Voltage Divider using ATPDraw นรเศรษฐ พัฒนเดช, เพทาย นิ่มสนอง, ภูชิต ถึงสุข, นิจธนกร สุระพร

This paper represents the study of unit step response of an impulse voltage divider employing ATPDraw. A resistive voltage divider and a capacitive with series and parallel voltage divider are studied. It is found that unsuitable resistor which is distributed in the voltage divider circuit causes step responses of the voltage divider does not meet the reference standard. The test results also suggest that the stray inductance especially the lower arm stray inductance leads to the serious overshoot problems. The cable length is effect on the time shift obviously. The unsuitable matching resistor value or the missing positions of the matching resistor have an influence on the measured voltage signal as well.

PW 104

เวลา 12:40 – 13:00 น.

ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงของสถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ภัทรี เกียรติกำจร และ กฤษคากร อินทรวงษ์

บทความนี้ได้นำเสนอก่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถิ่สูงภายในสถานีส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยเลือกสถานีไฟฟ้าปลวกแดง 1 ซึ่งมีการควบคุมการ ปลดสับอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านระบบ Computer base Substation Control System (CSCS) และ ตั้งอยู่ในบริเวณเขตอุตสาหกรรม โดยทำการวัดก่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถิ่สูงที่ บริเวณโดยรอบสถานีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกันระหว่างช่วงเวลาใช้โหลดปกติ (Off-Peak Load) และช่วงเวลาที่ใช้โหลดมาก(Peak Load) เพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและ ป้องกันอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต่อไป

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่32 (EECON-32) 28-30 ตุลาคม 2552 มหาวิทยาลัยมหิดล

การศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับ ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย

Study of Power Oscillation in 115 kV PEA's Distribution Line when connected

Small Electricity Generation System

ภาธร มีนาบุญ ไพศาล บุญเจียม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถ.รังสิต-นครนายก คลองหก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 0-2549-3571 โทรสาร : 0-2549-3568 E-mail: paisan.bc@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ใน ระบบสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับระบบการ ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยโดยจะทำการทดสอบการแกว่งของกำลังที่ เกิดขึ้นในแบบ Local plant mode ในสายส่งระบบ 115 kV แบบเรเดียล ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำนวน 2 วงจร ขณะต่อร่วมกับระบบการผลิต ไฟฟ้าเอกชน ผลที่ได้ทำให้ทราบถึงความถี่ของการเกิดการแกว่งของ กำลังไฟฟ้าในสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งโดยปกติความถึ่ ดังกล่าวจะเกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 2 Hz และการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า หรือจำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับลูกค้าจำเป็นต้องควบคุมระดับแรงดัน และกวามถี่ให้อยู่ในก่าเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อลดมูลก่าความเสียหายของ กระบวนการผลิตของลูกค้าในระบบจำหน่ายจงการไฟฟ้าของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค

<mark>คำสำคัญ</mark>: การแกว่งของกำลังไฟฟ้า,ไฟฟ้าเอกชนรายย่อย ,ระบบ จำหน่ายแบบเรเดียล

Abstract

This paper presents the study and analysis of power oscillation in 115 kV PEA's radial distribution network when connected small electricity generation systems. The local plant mode of small signal stability is chosen for study in this paper at the small power producer. Power oscillations analysis and suitable simulation is carried out by using MATLAB program. The result show that the power oscillates between 0.7 to 2 Hz. The study can show that power oscillations in acceptable ranges. In power distribution system, power oscillation analysis should be observed for preventing the PEA's System.

Keywords: Power oscillations ,Small electricity generation system,

Provincial Electricity Authority radial distribution Line

1. คำนำ

ปัจจุบันระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเอกชนรายย่อยได้ เพิ่มขึ้นตามสภาวะเสรษฐกิจที่เจริญเดิบโตอย่างรวคเร็ว ประกอบกับการ ลคการสร้างโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศ ไทย (กฟผ.) ทำให้รัฐมีการส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคเอกชนเข้า ดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเชื้อเพลิงที่ลดผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมมากขึ้น [1] จำนวนโรงผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยที่เพิ่มขึ้นจะ ผลิตพลังงานไฟฟ้าขายให้กับ กฟผ. ผ่านสายส่งระบบ 115 kV ของการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยตรง [2] การเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าดังกล่าวทำให้มี ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอย่าง หลีกเลี่ยงไม่ได้

การศึกษาทางด้านเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้ของระบบ ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงมีความจำเป็น ซึ่งโดยปกติการศึกษา เสถียรภาพจะพบมากสำหรับการวิเคราะห์แบบสถิต (Static analysis) เพื่อ วิเคราะห์เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ในการวิเคราะห์แบบพลวัต (Dynamic analysis) ส่วนใหญ่ระบบจำหน่ายที่ศึกษาเฉพาะในรูปของ กุณภาพไฟฟ้า แต่การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วครู่ (Transient stability) และ เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็ก (Small signal stability) ยิ่งมีน้อย เนื่องจาก ระบบไฟฟ้ากระจายศูนย์ (Decentralized Electrical System) มีไม่มาก เหมือนในปัจจุบัน ดังนั้นในบทความนี้จะนำเสนอการศึกษาเสถียรภาพ สัญญาณขนาดเล็กโดยศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบที่มีการ เชื่อมโยงกับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กของเอกชนรายย่อยโดยมุ่งเน้นศึกษา เสถียรภาพแบบ Local plant mode [3]

จากการสืบค้นข้อมูล ณ สถานที่จริงของระบบการส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่า หน้าที่หลักของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค [3] จะทำการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าจาก กฟผ. ระคับแรงคัน 115 kV และทำการขายพลังงานไฟฟ้าในระบบสายส่ง 115 kV และระบบ จำหน่าย 33 kV, 22 kV โดยตรง ระบบจำหน่ายเป็นแบบเรเดียล เชื่อมค่อ โดยตรงกับ กฟผ. ผ่านสถานีไฟฟ้าย่อย และโรงไฟฟ้าเอกชนรายย่อยที่ ขายพลังงานไฟฟ้าให้ กฟผ. ผ่านสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาค เมื่อได้ทำการศึกษาความเสถียรภาพของระบบจะพบว่าอาจเกิด การแกว่งของกำลังในระบบผลิตไฟฟ้าช่วนภูมิภาคโดยตรง บทความนี้นำเสนอการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งตอบสนองโด้ตอบกับระบบที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลังจากนั้นจะทำการออกแบบ และทดลองผลโดยการนำเอาก่าพารามิเตอร์ต่างๆ แทนลงในแบบจำลอง การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของบริษัทผลิดไฟฟ้าเอกชนโรจนะเพาเวอร์เมื่อ ต่อเชื่อมกับสายส่งระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พร้อมทำ การสรุปผลการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต่อเชื่อมกับสายส่งระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2. การวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้า

2.1 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจะอยู่ภายใต้ความสมคุลระหว่าง Mechanical Torque และ Electrical Torque ถ้าเสถียรภาพของระบบ เปลี่ยนแปลงไปจุดสมคุลจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยมีผลทำให้อัตราเร่ง ของ Rotor Angle เพิ่มพื้นหรือลดลงตามกฎของการเกลื่อนที่ (Motion Equation) ถ้าเกรื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งหมุนเร็วกว่าอีกเครื่องหนึ่งมุม ของ Rotor เมื่อเทียบกับแกน Rotor ของเครื่องกำเนิดนั้นจะมากกว่าเครื่อง กำเนิดที่หมุนช้ากว่า[5] ความแตกต่างของมุมเป็นผลให้ภาระของเครื่อง กำเนิดที่หมุนช้ากว่า[5] ความแตกต่างของมุมเป็นผลให้ภาระของเครื่อง กำเนิดที่หมุนช้ากว่า[5] ความแตกต่างของมุมเป็นผลให้ภาระของเครื่อง กำเนิดที่ช้ากว่าจะย้ายไปยังเครื่องกำเนิดที่เร็วกว่าซึ่งเป็นความสัมพันธ์ ของกราฟ *P* – δ ดังแสดงในรูปที่ 1 การเพิ่มพื้นของขนาดมุมที่แยกออก จากกันมากเท่าใดจะสะท้อนให้เห็นฉึงความสามารถในการถ่ายเท กำลังไฟฟ้าที่ลดลงตามความสัมพันธ์ระหว่าง *P* – δ และผลของมุมที่ แยกออกมากยิ่งขึ้นจะทำให้เสถียรภาพของระบบยิ่งลดลง [6] กำลังไฟฟ้า สูงสูดเมื่อมุมเป็น 90 องศา

$$P_{max} = \frac{|E'||V}{X_t}$$

2.2 การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น

ในบทความนี้จะทำการวิเคราะห์การแกว่งของกำลังไฟฟ้า แบบ Local plant mode [4] โดยอาศัยหลักการของเครื่องกำเนิคไฟฟ้า แบบ Classical ซึ่งจะทำการตัดผลของความต้านทานภายในเครื่องกำเนิค ไฟฟ้าออก เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า สามารถแสดงการต่อวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิคไฟฟ้าที่ต่อกับบัส อนันต์ ได้ดังรูปที่ 2

(1)



รูปที่ 1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P- δ



รูปที่ 2. วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับบัสอนันต์

จากรูปที่ 2 เป็นวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับ บัสอนันต์โดยที่ E'เป็นแรงคันที่อยู่หลัง Reactance Xd', X₄' คือความ ด้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, E₁เป็นแรงคันที่ปลายเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , E_B เป็นแรงคันที่ปลายของบัสอนันต์ และ S เป็นมุมระหว่าง E' ที่อยู่ เหนือ E_B ถ้ากำหนดให้มุม E' เป็นมุมอ้างอิงจะได้ ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\overline{I} = \frac{E' \angle 0^{\circ} - E_B \angle -\delta^{\circ}}{jX_T} = \frac{E' - E_B \left(\cos \delta - j \sin \delta\right)}{jX_T}$$
(2)

โดยที่กำลังไฟฟ้าหลัง X่ จำได้ดังสมการที่ (3)–(5)

$$S' = P + jQ' = \tilde{E}' \times I_t^* \tag{3}$$

$$E' = \tilde{E}'_{t0} + jX'_{d}I^{*}_{t}$$
(4)

$$X_T = X'_d + X_E \tag{5}$$

กำลังไฟฟ้าที่ Air-gap (P_e) จะเท่ากับ กำลังไฟฟ้าที่ปลายของ โครื่องกำเนิดไฟฟ้าและละเลยค่าความด้านทานที่ Stator Air-gap torque (T_e) จะเท่ากับ Air-gap power (P_e) ดังสมการที่ (6)

$$T_e = P = \frac{E'E_B \sin\delta}{X_t} \tag{6}$$

พิจารณา ΔT_e รอบจุคที่ทำงาน (Operation Point) จะได้ ดัง สมการที่ (7)

$$\Delta T_{e} = \frac{\partial T_{e}}{\partial \delta} \Delta \delta = \frac{E' E_{B} \cos \delta}{X_{t}} \left(\Delta \delta \right) \tag{7}$$

โดยที่มุม δ เป็นมุมที่จุดทำงานและจากสมการการเกลื่อนที่ (Motion equation) ตาม Per-unit จะได้ดังสมการที่ (8)

$$\rho_{\delta} = \omega_0 \Delta \omega_r \tag{8}$$

เมื่อพิจารณาสมการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นและแทนค่า∆*T* สมการ (6) จะได้ดังสมการที่ (9)

$$p\Delta\omega_r = \frac{1}{2H} \Big[\Delta T_m - K_S \Delta \delta - K_D \Delta \omega_r \Big] \tag{9}$$

โดยที่
$$K_s = \left(\frac{E'E_B}{X_t}\right) \cos \delta_0$$
 (10)

โดยที่ K_s เป็น Synchronizim torque coefficient จากสมการ เชิงเส้นจากสมการที่ (8) จะได้ดังสมการที่ (11) และจากความสัมพันธ์ ของส่วนประกอบต่างๆ จะได้ ดังสมการที่ (12)

$$p\Delta\delta = \omega_0 \Delta\omega_r$$
(11)
$$\Delta\delta = \frac{\omega_0}{S} \left[\frac{1}{2H} \left(-K_D \omega_r - K_S \Delta\delta + \Delta T_m \right) \right]$$
$$= \frac{\omega_0}{S} \left[\frac{1}{2HS} \left(-K_D S \frac{\Delta\delta}{\omega_0} - K_S \Delta\delta + \Delta T_m \right) \right]$$
(12)

เมื่อ $\Delta T_m = 0$ จัดสมการใหม่จะได้ดังสมการที่ (13)

$$S^2 + \frac{K_D}{2H}S + \frac{K_S\omega_0}{2H}$$
(13)

และเมื่อเทียบกับสมการ จะได้รากของสมการกุณลักษณะ ดัง สมการที่ (14) และ (15)

$$S_1, S_2 = -\zeta \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$
(14)

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \tag{15}$$

โดยที่ Underdamped natural frequency และ Damping ratio จะได้ดังสมการที่ (16) และ (17)

$$\omega_n = \sqrt{K_s \frac{\omega_0}{2H}}$$
(16)

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{K_D}{\sqrt{2HK_S \omega_0}} \tag{17}$$

2.3 การวิเคราะห์ รูปแบบสถานะ (State Variable form)

กำหนดให้ $x_1 = \Delta \delta$ และ $x_2 = \Delta \omega = \Delta \delta$ เขียนสมการ สถานะในรูปเมตริกได้เป็น และแปลงลาปลาซสมการ (18) จะหาค่า X(s) จะได้ ดังสมการที่ (19)

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{1} \\ \dot{x}_{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_{n}^{2} & -2\zeta\omega_{n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1} \\ x_{2} \end{bmatrix}$$
(18)
$$X(S) = \frac{\begin{bmatrix} S + 2\zeta\omega_{n} & 1 \\ -\omega_{n}^{2} & S \end{bmatrix} X(0)}{S^{2} + 2\omega_{n}S + \omega_{n}^{2}}$$
(19)

เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ Small Disturbance ซึ่งเป็นการ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระบบโรเตอร์ถูกรบกวนเล็กน้อยด้วยมุมขนาด เล็กๆ สามารถหาค่า x(0) ได้เป็น $x_1 = \Delta \delta$ และ $x_2 = \Delta \omega = 0$ จะได้ กำตอบในรูปสมการลาปลาซเป็นดังสมการที่ (20) และ (21)

$$\Delta\delta(S) = \frac{(S + 2\zeta\omega_n)\Delta\delta_0}{S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2}$$
(20)

ແລະ

$$\Delta\omega(S) = \frac{\omega_n \Delta \sigma_0}{S^2 + 2\zeta \omega_n S + \omega_n^2}$$
(21)

แก้สมการถาปถาซ จะได้ผลตอบสนองเป็น ดังสมการที่ (22)

$$\Delta \delta = \frac{\Delta \delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin(\omega_d t + \theta)}$$
(22)

$$\Delta \omega = \frac{\omega_n \Delta \delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin(\omega_d t)}$$
(23)

เมื่อ $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ และ $\theta = \cos^{-1} \zeta$ สมการการ เปลี่ยนแปลงของมุมกำลัง (power angle) โรเตอร์เนื่องจาก Small Disturbance เป็น ดังสมการที่ (24)

$$\delta = \delta_0 + \frac{\Delta \delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin(\omega_d t + \theta)}$$
(24)

สมการการเปลี่ขนแปลงของกวามเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ เนื่องจาก Small Disturbance ดังสมการที่ (25) และก่า Response Time Constant ดังสมการที่ (26) ผลตอบสนองที่เกิดขึ้น จะลู่เข้าสู่ก่ากงที่ ที่เวลา ประมาณ $t \cong 4\tau$

$$\omega = \omega_0 - \frac{\omega_n \Delta \delta_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t \sin(\omega_d t)}$$
(25)

$$\tau = \frac{1}{\zeta \omega_n} \tag{26}$$

3. การออกแบบและทดลองผล

กรณีที่ 1 ทำการออกแบบและทคสอบการแกว่งของกำลังในระบบสายส่ง ไฟฟ้าเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำต่อเข้ากับบัสอนันต์โดย กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทคสอบคังนี้ E'= 1.35 ∠16.79°,E_s= 1 ∠0°P = 0.6 P.U ,60 Hz,0.8 Lagging และ H= 9.94 MJ/MVA

$$\begin{array}{c} X_{1}=0.2 \\ G \\ E_{1} \\ X_{a}'=0.3 \end{array} \xrightarrow{1} \begin{array}{c} X_{12}=0.3 \\ \hline \\ X_{12}=0.3 \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \\ \end{array} \xrightarrow{2} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \begin{array}{c} \end{array} \xrightarrow{2} \end{array} \xrightarrow{2$$

รูปที่ 3 ไคอะแกรมเส้นเคี่ยวของระบบทคสอบ

จากรูปที่ 3 และการกำหนดก่าโดยก่า E'ได้มาจากการกำนวณ ในสมการที่(1)-(4) ,E_b เป็นแรงดันของบัสอนันต์, P เป็นกำลังไฟฟ้าจริง ของเครื่องกำเนิดในหน่วยเปอร์ยูนิต ,กวามถี่ของระบบ 60 Hz ,มุม ประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8 ล้าหลัง และH เป็นก่ากวามเถื่อยคงที่ของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้ามีหน่วยเป็น MW.s/MVA จากก่าที่ได้ในตารางที่ 1 เมื่อทำ การทดสอบระบบโดยไม่ได้นำก่ากวามด้านทานของสายส่งมากิดพบว่า เกิดแกว่งแบบหน่วงและสวิงที่กวามถี่ท่ำประมาณ 0.9549 Hz ของโรเตอร์ ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่กวามเร็วซิงโครนัส ในเครื่องกำเนิด กังหันไอน้ำใช้เวลาประมาณ 3.0572 วินาที (Ts=4τ)เมื่อ (τ =0.7643)

จากรูปที่ 4 นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดในกรณีที่ 1, พร้อมสมการ (1),(14) - (17), และ (29) มาทำการศึกษาจะเห็นว่าความถึ่ ของการแกว่งกำลังไฟฟ้าและมุมองศาที่แยกออกจะเห็นได้ว่าใช้เวลา ประมาณ 3 วินาที่ก่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ความเร็วซิงโครนัสที่มุม องศาประมาณ 16.89 องศา

กรณีที่ 2 ทำการทดสอบการแกว่งกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของบริษัทผลิตไฟฟ้าเอกชนโรจนะเพาเวอร์กับระบบสายส่ง 115 เควี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้ $E' = 1.250 \angle 15.13^{\circ}, E_{B} = 1 \angle 0^{\circ} P = 0.9 P.U, 50 Hz, 0.85 Lagging, H$ = 5 MJ/MVA, Sbase =100kVA, Vbase =115 kV, Zbase = 132.25 Ω , Line type =3 C, Line ANNo =115VDS400 uar R+jX = 0.000324658+0.002024197j p.u./circuit/km

ตารางที่ 1 ค่าผลการทดสอบการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต่อบัส อนันด์

รายการ	จำนวน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max power rate)	2.0769 p.u.
มุมเฟสเริ่มต้น (Initial angle)	0.2931 radian
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส	1.9884
อัตราส่วนการหน่วง (Damping ratio)	0.2131
ความถีการแกว่ง (Damp oscillation frequency)	0.9549 Hz
ค่าคงที่เวลา (Time constant)	0.7643 Sec
ค่ามุมเฟส (Phase angle)	1.3561 radian

ตารางที่ 2 ค่าผลการทคสอบการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงไฟฟ้า

ج v

เฉนอน เวงหระพ เกิดว	
รายการ	จำนวน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max power rate)	3.4244 p.u.
มุมเฟสเริมต้น (Initial angle)	0.2659 radian
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซิงโครนัส	3.3040
อัตราส่วนการหน่วง (Damping ratio)	0.2128
ความถีการแกว่ง (Damp oscillation frequency)	1.5844 Hz
ค่าคงที่เวลา (Time constant)	0.4613 Sec
ค่ามุมเฟส (Phase angle)	1.3564 radian



รูปที่ 4. การแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต่อบัสอนันต์



รูปที่ 5. การแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบริษัทไฟฟ้าโรจนะ

จากค่าที่ได้ในตารางที่ 2 เมื่อทำการทดสอบระบบโดยคิดค่า ความด้านทานพารามิเตอร์ต่างๆของสายส่งระบบ115 kV และเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าของบริษัทโรจนะเพาเวอร์พบว่าเกิดแกว่งแบบหน่วงและ สวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 1.5844 Hz ของโรเตอร์ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพ ของระบบที่ความเร็วซิงโครนัส ในเครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำใช้เวลา ประมาณ 1.8452 วินาที (Ts =4 τ) เมื่อ (τ =0.4613 วินาที)

จากรูปที่ 5 นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดในกรณีที่ 2 พร้อม สมการ (1), (14) - (17), และ (29) มาทำการศึกษาจะเห็นว่าความถิ่ของ การแกว่งกำลังไฟฟ้าและมุมองศาที่แยกออกจะเห็นได้ว่าใช้เวลาประมาณ 1.85 วินาที ก่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ความเร็วซิงโกรนัสที่มุมองศา ประมาณ 15.32 องศา

4. สรุปผล

ผลการทดสอบการแกว่งของระบบไฟฟ้าในแบบทดสอบโดย การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับบัสอนันต์ พบการแกว่งแบบหน่วงและ สวิงที่ความถี่ต่ำประมาณ 0.955 Hz ของโรเตอร์ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของ ระบบที่ความเร็วซิงโครนัสซึม ในเครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำใช้เวลา ประมาณ 3 วินาที และจากแบบทคสอบดังกล่าวนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และพารามิเตอร์ต่างๆ กรื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงผลิตไฟฟ้าเอกชนโรจนะเพาเวอร์มาทำการ ทดสอบการแกว่งของกำลัง พบว่าเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแบบ หน่วงและสวิ่งที่ความถี่ด่ำผ่านสายส่งระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาคประมาณ 1.58 Hz ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ของการแกว่งแบบ Local plant mode ก่อนเข้าสู่เสถียรภาพของระบบที่ความเร็วซิงโครนัสซึม ใน เครื่องกำเนิดกังหันไอน้ำในเวลาประมาณ 1.85 วินาที ซึ่งการแกว่งของ กำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อยในสภาวะจ่าย โหลดปกดิของระบบการผลิตเอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ.,วารสาร นโยบายพลังงานฉบับที่ 38 ตุลาคม – ธันวาคม 2540
- [2] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขตไจ้งหวัดพระนครศรีอยุธยา.,เอกสาร การ ประชุมเพื่อเตรียมความพร้อมรับการลงทุนก่อสร้างระบบการผลิต ไฟฟ้าเอกชนราย (SPP) 8 มิถุนายน 2551
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.,การวิเคราะห์การเกิด Power Oscillationsในระบบไฟฟ้าของกฟผ.โดยคณะทำงานวิจัยกฟผ. โครงการวิจัยรหัส 30-58
- [4] Kundur, P., " Power System Stability and Control ",Chapter12, Small-Signal Stability, pp.699-736.
- [5] Saadat, H., " Power System Analysis ", Chaptet11, Stability,pp.460-484.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายภาธร มีนาบุญ		
วัน เดือน ปี	11 พฤศจิกายน 2518		
ที่อยู่	26/7 ม.8 หมู่บ้านจารุณี ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120		
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระคับมัธยมศึกษาตอนปลาย		
	จากโรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อปี พ.ศ.2537		
	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี รัฐประศาสนศาสตรบัณฑิต		
	จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เมื่อปี พ.ศ.2544		
	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา		
	วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปี พ.ศ.2547		
ประวัติการทำงาน			
พ.ศ. 2537 – 2550	ตำแหน่งพนักงานช่าง (ฮอทไลน์) ระดับ 2 ถึง ระดับ 4 ทำหน้าปฏิบัติงาน		
	ก่อสร้างและบำรุงรักษาระบบจำหน่าย 22 เกวี โดยวิธีไม่ดับกระแสไฟฟ้า		
	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		
พ.ศ. 2550 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกร ระดับ 5 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครังสิต ต.คลองหนึ่ง		
	อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120		

ผลงานวิจัย

ภาธร มีนาบุญ, ไพศาล บุญเจียม, "การศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย", การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 32 (32nd Electrical Engineering Conference), ระหว่างวันที่ 28 – 31 ตุลาคม 2552, ปราจีนบุรี

ภาธร มีนาบุญ, ไพศาล บุญเจียม, "การศึกษาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อต่อร่วมกับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย", **การประชุมสัมมนาทีมงานคุณภาพ** ไฟฟ้าประจำปี 2552 ของสายงาน (จ3), การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, ระหว่างวันที่ 3-4 ธันวาคม 2552, กาญจนบุรี