

ระบบจัดการพลังงาน - การจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดใน
หน่วยการผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน
Energy Management System - Economic Power Dispatch of
Thermal Generating Units



ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033127

ปีการศึกษา 2536

Energy Management System - Economic Power Dispatch of
Thermal Generating Units

โดย

นาย สุชาติ มุ่งสุขจิตการ

นาย สุพรรณ ทิพย์ทิพากร

นาย สุรเดช ชัยนเพียรภาระกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

อาจารย์ นิกศน์ กฤษณจินดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2536

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง Energy Management System - Economic Power Dispatch of Thermal Generating Units

ผู้จัดทำ :

1. นาย สุชาติ มุ่งสัจจิการ
2. นาย สุพรรณ ทิพย์ทิพากร
3. นาย สุรเดช ชัยนเพียรภาระกิจ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ นิกศน์ กฤษณจินดา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจัดการพลังงาน - การจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดใน

หน่วยการผลิตกำลังไฟฟ้าพลังงานความร้อน

(Energy Management System - Economic Power Dispatch of
Thermal Generating Units)

นาย สุชาติ มุ่งสุขจริตการ *

นาย สุพรรณ ทิพย์ทิพากร *

นาย สุรเดช ชัยนเพียรภาระกิจ *

ผศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ **

อ. นิตศัน กฤษณจินดา **

บทคัดย่อ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎีการจ่ายกำลังไฟฟ้าทางเศรษฐศาสตร์ อันเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการพลังงาน เป็นวิธีการจัดการการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ระหว่างหน่วยการผลิตในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน และสามารถลดต้นทุนการผลิตพลังงานต่อหน่วยผลิตพลังงานได้ ปริมาณพันธบัตรฉบับนี้จะรวมถึงการศึกษาภาพโดยรวมของระบบการจัดการพลังงาน และสร้างโปรแกรมคำนวณหาการผลิตพลังงาน จากการจ่ายกำลังไฟฟ้า ร่วมกันระหว่างหน่วยผลิต ภายในโรงจักรพลังงานความร้อนแห่งเดียวกัน โดยเน้นที่ค่าใช้จ่ายในการเพิ่มค่าเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตพลังงาน และทำการทดลองโปรแกรมสำหรับกรณีศึกษาจากข้อมูลค่าความต้องการทางพลังงานจากโรงไฟฟ้าพระนครใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : * นักศึกษา ** อาจารย์ที่ปรึกษา

Abstract

Generating power with economic power dispatch principal, a part of energy management system, is a method to manage power generating between thermal generating units effectively, it can reduce an incremental fuel cost of thermal generating units.

This thesis involves studying about open energy management system and set program to calculate co-generating power between thermal generating units within a same power plant by giving an attention to an incremental fuel cost in the economic loading method. For case study, it bases on the data of South Bangkok Thermal Power Plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

ศึกษาลักษณะโดยรวมของระบบการจัดการพลังงาน และ นำข้อมูลมาประยุกต์ใช้งานในการสร้างโปรแกรมเพื่อจัดการการผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่างหน่วยผลิต ภายในโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน ซึ่งจะต้องมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันโดยมีค่าใช้จ่ายในทางด้านเชื้อเพลิงต่ำสุด เป็นการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VI

สารบัญ

บทคัดย่อ	.....	III
วัตถุประสงค์	.....	V
สารบัญ	.....	VI
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	สิ่งจำเป็นของระบบจัดการพลังงานสมัยใหม่	3
บทที่ 3	การจำลองคุณลักษณะของระบบจัดการพลังงานส่งจ่าย	13
บทที่ 4	The China Light and Power Company Energy Management System	29
บทที่ 5	Expert System ในระบบไฟฟ้ากำลัง	51
บทที่ 6	A Unit Commitment Expert System	57
บทที่ 7	Optimal Short-Term Thermal Unit Commitment	66
บทที่ 8	ทฤษฎีการจ่ายกำลังไฟฟ้าภายในโรงจักรตามหลักเศรษฐศาสตร์	75
บทที่ 9	การคำนวณหากำลังผลิตด้วยค่า Incremental fuel cost	82
บทที่ 10	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	107
กิตติกรรมประกาศ	.....	108
หนังสืออ้างอิง	.....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

ขณะนี้ระบบจัดการพลังงาน (EMS) ได้มีการนำเอาระบบฐานข้อมูลมาใช้ ในการส่งข่าวสารต่างๆ เมื่อมองเกี่ยวกับการจัดส่งข้อมูลของระบบ EMS ในแนวระนาบ จะประกอบด้วย การวางแผน, การส่งข่าวสารระหว่างหน่วย, การทำบัญชี เป็นต้น และเมื่อมองในแนวตั้ง มันจะประกอบไปด้วยส่วนของการควบคุมเป็นลำดับขั้น ตั้งแต่ส่วนของการควบคุมในโรงจักร ไปจนถึงการควบคุมใน substation เป็นต้น การประยุกต์การทำงานอย่างกว้างขวางของระบบ EMS สมัยใหม่ จะช่วยในการลดค่าใช้จ่ายที่เสียไป ในด้านต่างๆ ทั้งในส่วนของการกำเนิดไฟฟ้า, ในระบบการส่งจ่าย และ ในระบบการจำหน่าย ในขณะเดียวกัน ก็จะช่วยบำรุงรักษาคุณภาพ และความปลอดภัยของแหล่งจ่ายอีกด้วย และในการที่ระบบควบคุมต่างๆ ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้น จะต้องมีการทำงานร่วมกันอย่างดีที่สุด เพื่อให้อยู่ในมาตรฐาน ของระบบเปิด ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในส่วน ของ Data Engineering อีกด้วย

ในปริญญาโทฉบับนี้ จะมีการนำเสนอรูปแบบของโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบเปิดของระบบ EMS โดยจะทำการเสนอรายละเอียดที่เกี่ยวกับความสามารถในการนำมาปฏิบัติงาน โดยรูปแบบในการนำเสนอ นั้น จะทำการนำเสนอโดยใช้วิธีวิเคราะห์ในแบบ " simulation method " ซึ่งก็จะมี การ simulate ในส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

1. การ simulate ที่เกี่ยวกับลักษณะของ hardware ของระบบ
2. การ simulate ในส่วนของการส่งผ่านข้อมูลภายใน LAN
3. การ simulate ที่เกี่ยวกับการทำงานของ software ต่างๆ ในระบบ EMS
4. การ simulate ที่เกี่ยวกับการทำงานของ dispatcher console เพื่อนำมาแสดงผลต่าง ๆ ซึ่งถูกใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ EMS

รวมทั้งยังมีการนำเสนอเกี่ยวกับระบบ EMS แบบใหม่ที่ทันสมัย ซึ่งถูกใช้ในการทำงานที่ China Light and Power Company (CLP) มาเป็นเวลามากกว่า 5 ปี ในบริเวณเมืองใหม่ของเกาะฮ่องกง (New territories of Hong Kong) ในส่วนนี้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การนำเสนอเกี่ยวกับประสบการณ์ การทำงานที่ผ่านมากในระบบ EMS ของบริษัท CLP รวมไปถึงแผนงานต่างๆ ในการปรับปรุง และ พัฒนาระบบ EMS ของ CLP อีกด้วย

ในขณะที่ได้มีการนำเอาระบบ expert system มาใช้ในการจัดการการทำงานในการผลิตกำลังไฟฟ้า ในแต่ละหน่วยของเครื่องกำเนิด ซึ่งจะช่วยในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้ โดยการนำเอาความเข้าใจ และ ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานรวมไปถึงโปรแกรม unit commitment expert มาทำงานร่วมกัน เพื่อที่จะสร้างกฎที่จะนำมาใช้งานในระบบ expert system

จากที่กล่าวมานี้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องให้ข่าวสาร ซึ่งเกิดจากผลของการตอบสนองใดๆ แก่ระบบ expert system โดยระบบ expert system ก็จะนำเอาข่าวสารที่ได้รับ มาทำการประมวลผลให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ และอาจมีการโต้ตอบกับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อที่จะได้ทราบถึงข่าวสารที่มีการเพิ่มเติมขึ้น ผลที่ได้จากการประมวลผลโดย expert system นั้น จะถูกนำมาปรับปรุงโดยการระบุให้ผู้ปฏิบัติงานเปลี่ยนแปลงข้อมูล input ซึ่งในส่วนนี้ก็จะขึ้นอยู่กับการวินิจฉัยของผู้ปฏิบัติงาน

การประหยัดค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง สามารถกระทำได้โดยการทำงานร่วมกันอย่างเหมาะสมของ เครื่องกำเนิดที่ใช้งานในการจ่ายกำลังไฟฟ้ายรวมกันของหน่วยโรงจักรความร้อน เพื่อให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าต่ำสุด ค่าใช้จ่ายทั้งหมด ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการผลิต และค่าใช้จ่ายเนื่องจากการเปิด และ ปิดเครื่องจักร สำหรับในบางโรงจักรนั้น ยังต้องมีการคำนึงถึงความต้องการ spinning reserve และข้อกำหนดต่างๆ เพื่อความปลอดภัยมาประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 สิ่งจำเป็นของระบบจัดการพลังงานสมัยใหม่

(Modern Energy Management System Requirements)

เทคโนโลยีในการส่งข่าวสาร IT

(Information Technology)

การหันเหของตลาดทางพลังงานไฟฟ้าในหลายส่วนของโลก ทำให้เกิดสิ่งท้าทายใหม่ ๆ แก่ บริษัทไฟฟ้า (power energy) การแข่งขันที่เพิ่มขึ้นและความต้องการในการพัฒนาเพื่อให้เกิดความประหยัดและมีคุณภาพทางด้านบริการมากขึ้น โดยไม่คำนึงถึงขอบเขตของความปลอดภัย (security margins) นั้นจะทำให้ความถูกต้อง และข้อมูลที่ทันสมัยมีความจำเป็นมากขึ้น

เมื่อไม่นานมานี้ ระบบส่งข่าวสารระหว่างหน่วย (coporate informaton system) ถูกแยกส่วนของการทำงานออกจากกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อบังคับทางองค์กรและข้อจำกัดในทางเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการจำกัดศักยภาพที่แท้จริงไป ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการส่งข่าวสาร (IT) จะมีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นในด้านปัญหาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ มากขึ้น และนอกจากนี้จะมีการนำเอาประโยชน์ของมัน ในฐานะที่เป็นเครื่องมือทางธุรกิจที่มีประสิทธิภาพ มาใช้เพิ่มขึ้นในหลายทาง โดยในปัจจุบันนี้ เราจะพบว่าการเติบโตขึ้นของสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1. การเพิ่มขึ้นที่สัมพันธ์กันของการทำงาน และ การวางแผนสำหรับการกำเนิดกำลัง, การส่งจ่ายและ การจำหน่าย
2. การเพิ่มขึ้นในส่วนของการเป็นไปได้ในการร่วมกันทางการค้า และ การบริการ
3. การเพิ่มขึ้นในกลวิธีของ IT ซึ่งจะทำให้หน่วยธุรกิจมีความเจริญมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่ประกอบร่วมกัน (Integrated System)

ปกติแล้ว SCADA/EMS/DMS (Supervisory Control And Data Acquisition/Distribution Management System) ซึ่งมีฐานข้อมูล(database) ของมันอยู่ จะมีการนำเอาส่วนของ database นี้มาใช้ในการส่งข่าวสาร ถ้ามองในแนวระนาบ มันจะประกอบด้วย ส่วนวิศวกรรม, การวางแผน, การทำบัญชี ฯลฯ และถ้ามองในแนวตั้งจะประกอบด้วย การคำนวณแหล่งจ่ายกำลังในสถานีกำลังไฟฟ้า และ substation (รูป 1, 2)

ลักษณะภายนอกของ EMS สมัยใหม่จะใช้ Local Area Network (LAN) ซึ่งมีโครงสร้างที่เป็นแบบเปิด (Open Architecture) เพื่อความสะดวกในการขยายและเชื่อมโยงกับระบบอื่น, ในการติดต่อกันของผู้ใช้ในการรวบรวมข้อมูล และการส่งจ่ายข้อมูลนั้น มีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้ได้รับความน่าเชื่อถือ และในส่วนของ application function ของฐานข้อมูลนี้จะตั้งอยู่ในส่วนของการใช้งานของผู้บริการ (servers)

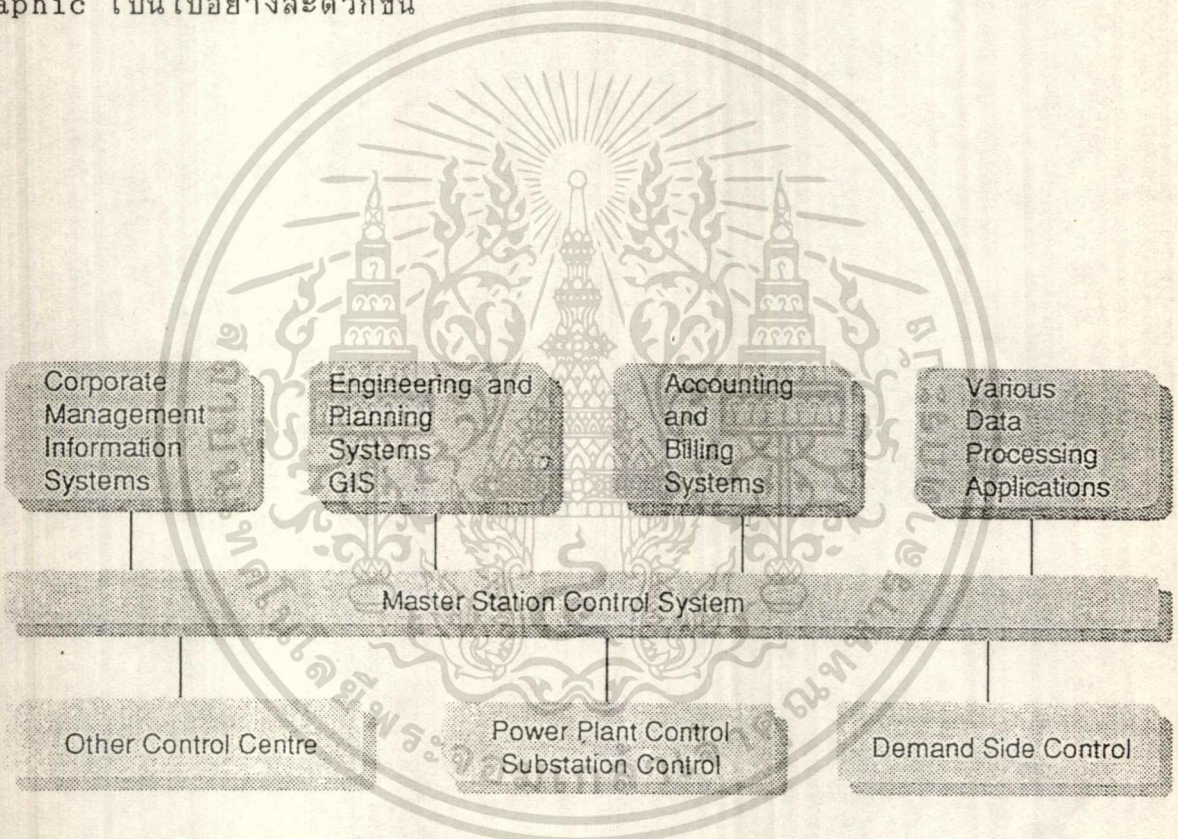
ความง่ายของการใช้งานร่วมกัน, การเคลื่อนย้ายได้, การกระจายการทำงาน ในระบบสถาปัตยกรรมของผู้ใช้/ผู้บริการ (Client/Server) จะเป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการวัดระดับของ EMS เช่นการขยายขอบเขตในการใช้งานที่เป็นไปอย่างสะดวก รวมไปถึงการที่ software จะสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ไปยังที่ใหม่ที่มีความทันสมัยกว่า และเราอาจจะกล่าวได้ว่า ส่วนของ software จะเกิดจากองค์ประกอบการทำงานย่อยๆ มารวมกัน ซึ่งเมื่อเราทำการซ่อมแซม หรือพัฒนาองค์ประกอบใดๆ ก็จะไม่เกิดผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นที่เหลือ

การเชื่อมโยงกันจะต้องเป็นแบบง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้ และจะต้องไม่ส่งผลกระทบกับการทำงานภายในของแต่ละส่วน ในส่วนของ API (Application Program Interface) นั้นควรมีมาตรฐาน ข้อกำหนดต่างๆ เพื่อทำให้เกิดความสะดวกในการทำงานร่วมกัน ในการประยุกต์ใช้งานได้

การติดต่อสื่อสารด้วย Remote Terminal Units (RTU) ตลอดจนการติดต่อกันภายในระบบควบคุม สถานีไฟฟ้าใน substation จะถูกทำโดย Remote Communication Servers (RCSs) ซึ่งเชื่อมโยงอยู่กับระบบเครือข่ายการสื่อสารไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ตามปกติการสื่อสารระยะกลาง จะใช้ใน ช่วงความกว้างที่จำกัดเท่านั้น จึงทำให้เกิด

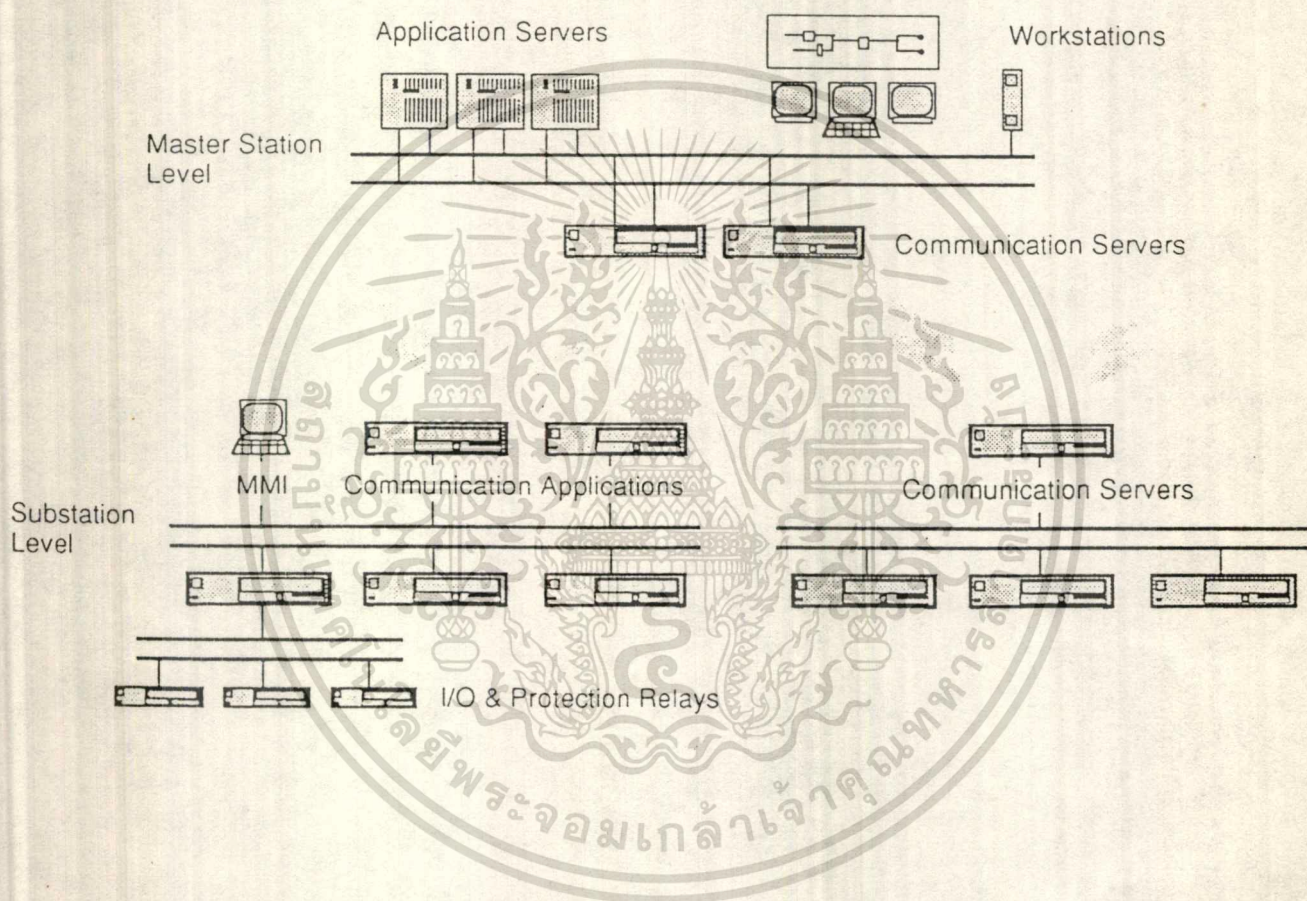
การติดตั้งในการไหลของข่าวสารจาก station ไปยังศูนย์ควบคุม (control centers) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของ supervisory control ซึ่งประกอบด้วย การป้องกัน , การควบคุมโรงจักร และระบบควบคุม station ทำให้มีแนวโน้มที่จะใช้สื่อที่มีความเร็วสูง ดังนั้น ระบบ EMS จึงจำเป็นที่จะต้องถูกออกแบบมาเพื่อทำการติดต่อได้ทั้งเครือข่ายที่มีความเร็วสูง และ ต่ำได้

The Man-Machine Interface จะถูกทำงานโดย Man Machine Servers และในปัจจุบันนี้ พบว่าการใช้เทคนิคของการ windowing จะช่วยทำให้การสร้าง graphic เป็นไปอย่างสะดวกขึ้น



รูปที่ 2.1 การประกอบร่วมกันทางแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การประกอบร่วมกันทางแนวตั้ง - กระบวนการติดต่อสื่อสาร

การประยุกต์ใช้งาน (Power Applications)

ระบบ EMS สมัยใหม่จะจัดการทำงานพื้นฐานให้แก่ SCADA ซึ่งจะต้องประกอบด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การควบคุมเป็นลำดับระหว่างกัน (interactive sequential control) และ ไม่สามารถในใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การบันทึกข้อมูลเก็บไว้ ส่วนใหญ่แล้วจะทำงานร่วมกับ software สมัยใหม่พวก Lotus

หรือ Excel

อีกนัยหนึ่ง ระบบ EMS ควรจะมีความหลากหลายของการประยุกต์การทำงานในด้านต่างๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายของการกำเนิด, การส่งจ่าย และ การจ่ายไฟฟ้า ขณะเดียวกันก็รักษาคุณภาพและความปลอดภัยของแหล่งกำเนิดได้ด้วย จากหลักของระบบฐานข้อมูลหลายชนิดที่ทันสมัย การใช้งานใน software เดียวกันนั้นจะสามารถใช้ได้ทั้ง การควบคุม ณ เวลาจริงและสำหรับเป็นกรณีศึกษาได้ (real-time control และ studing-mode planning)

ต่อไปจะแสดงการประยุกต์การทำงานในส่วนต่างๆ ของระบบ EMS มีดังต่อไปนี้

1.การทำนาย (Forecasting) จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

- การทำนายระยะยาว และ ระยะสั้น (Long and short term forecasting) จะมีการพยากรณ์การใช้พลังงานในแต่ละพื้นที่เป็นรายสัปดาห์ใน 3 ปีข้างหน้า หรือ รายชั่วโมงใน 1 สัปดาห์

- การทำนายการไหล (Inflow Forecasting) พยากรณ์การไหลของน้ำรายวันในอ่างเก็บน้ำ

- การใช้เชื้อเพลิงในระยะยาว (Long term fuel optimization) จะช่วยจัดการในด้านการซื้อ, การใช้งานของเชื้อเพลิงในโรงจักรความร้อน และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิต

2.ตาราง (Scheduling)

- การซ่อมบำรุง (Maintenance Scheduling) เป็นส่วนของตารางเวลาที่จะใช้ในการซ่อมบำรุง power plant

- การจ่ายกำลังของหน่วยโรงจักรความร้อน (Thermal unit commitment) จะจัดการค่าใช้จ่ายให้น้อยที่สุด สำหรับหน่วยโรงจักรความร้อนในแต่ละชั่วโมงจนถึง 1 อาทิตย์

- การใช้น้ำ (Hydro optimization) เตรียมการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำให้เหมาะสม และ จัดการผลิตกำลังจากเขื่อนเพื่อลดค่าใช้จ่ายของโรงจักรความร้อน

3.การแลกเปลี่ยนกำลังไฟ (Power Interchange)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ตารางการแลกเปลี่ยน (Interchange scheduling) โดยผู้ควบคุมจะทำการจัดการใหม่ และคำนวณค่าการแลกเปลี่ยนให้เป็นฟังก์ชันของเวลา

- การตีราคาซื้อขาย (Transaction Evaluation) โดยผู้ควบคุมจะทำการจัดการด้านราคา และการออมที่เกี่ยวข้องเนื่องกับศักยภาพของการซื้อขาย

4. การควบคุม (Control)

- การควบคุมเครื่องกำเนิดอัตโนมัติ (AGC) จะควบคุมการทำงานต่างๆ ให้เป็นไปตามที่ระบบต้องการ และจัดการเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตให้ลดลง

- การควบคุมเขื่อนแบบลูกโซ่ (Hydro chain control) ใช้ควบคุมเขื่อนและอ่างเก็บน้ำเล็ก ๆ ระหว่างโรงจักร

5. การแสดงผลของเครือข่าย (Network Monitoring)

- ฟังก์ชันของตารางจัดการ (Scheduler Function) จะคำนวณภาระทางไฟฟ้าแต่ละ bus ในระบบ รวมไปถึงการคำนวณองค์ประกอบภาระที่ขึ้นกับเวลา (time dependant distribution factor)

- Network Topology calculation จะทำการจัดการเกี่ยวกับการเชื่อมโยงกัน และจัดหารูปแบบของ bus ในเครือข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง

- การแสดงสีของเครือข่ายทางจลน์ (Dynamic Network Colouring) จะแสดงสถานะทางไฟฟ้า และการเชื่อมโยงต่างๆ ของ one line diagram โดยใช้วิธีการแสดงในแบบ dynamic colouring

- State Estimator จะเป็นส่วนที่ทำการคำนวณค่ากำลังในระบบไฟฟ้ากำลังที่เป็นไปได้ โดยจะมีการพิจารณาได้ 2 แบบ คือ

1. พิจารณาจากการวัดค่าเวลาจริงในเครือข่ายที่พิจารณา

2. พิจารณาจากการรวมกันของการวัดค่าเวลาจริงรวมกับการวัดจำลอง ซึ่งเกิดจากการทำงานตามตารางควบคุมในพื้นที่ ที่ไม่สามารถสังเกตได้ และในพื้นที่ภายนอกเครือข่าย

- การวินิจฉัยการผิดปกติ (Fault Diagnosis) เป็นเครื่องมือที่มีความเร็วและเชื่อถือได้ในการเข้าถึงสาเหตุ และผลของการรบกวนเครือข่าย ซึ่งเป็นพื้นฐานของเทคนิคโดย Expert System

- การบอกตำแหน่งของการลัดวงจรลงดิน (Earth fault location) จะทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เห็นถึงสัญญาณของการลัดวงจรลงดิน และ การลัดวงจรเพื่อแสดงตำแหน่ง fault ไม่วารณมีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การบอกตำแหน่งการลัดวงจร (Short circuit localisation) จะช่วยผู้



ควบคุมในการชี้ตำแหน่งในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังที่เกิดการลัดวงจรขึ้น

วิศวกรรมข้อมูล (Data Engineering)

ส่วนของวิศวกรรมข้อมูล (Data Engineering) จัดเป็นส่วนหนึ่งของ EMS ซึ่งจากการรวมกันของอุปกรณ์ต่างๆ จากผู้จำหน่ายที่แตกต่างกัน และการรวมกันของระบบข่าวสารที่ต่างกัน นับเป็นสิ่งที่ค่อนข้างซับซ้อน ความสำคัญของอุปกรณ์ทางวิศวกรรมข้อมูลที่ใช้ในการ support ระบบข่าวสาร รวมไปถึงความสำคัญในส่วนของฐานข้อมูลนี้ เราสามารถที่จะทำการประมาณการได้

สิ่งที่จำเป็นบางอย่างที่สำคัญ จะประกอบไปด้วยสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

- ข่าวสารของอุปกรณ์ที่มีการต่อกัน อยู่ใน power network ควรจะมีเข้ามาทีละครั้ง
- ผู้จัดวิศวกรรมข้อมูล (Data Engineering Editor) ควรจะควบคุมให้มีการส่งข้อมูลออก และรับข้อมูลเข้าได้
- การตรวจสอบอัตโนมัติ ควรจะเริ่มในสภาวะแรกๆ ในการเข้ามาของข้อมูล
- ข้อมูลที่เข้าควรจะเป็นภาษาชั้นสูง

การเตรียมข้อมูลเพื่อแก้ไข จะมีการรับเข้ามาจากระบบภายนอก ซึ่งอาจจะเป็นระบบส่งข่าวสารทางธรณีวิทยา (GIS) หรือ ระบบวางแผนเครือข่าย (Network planning system) และควรมีการตรวจสอบความเข้ากันได้เพื่อให้แน่ใจว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นอกเหนือขอบเขตที่กำหนดจะไม่สามารถเข้ามาได้ รวมทั้งควรจะมีกระบวนการในการควบคุมเอาไว้ เพื่อสร้าง และ รับการแก้ไขต่างๆ ในแบบขนานโดยจะไม่บรรจุมันไว้ในฐานข้อมูลก่อนที่ผู้ใช้จะเรียกออกมา

ค่าเวลาจริงของฐานข้อมูลใหม่ จะต้องปรับปรุงให้เป็นฐานข้อมูลที่ทันสมัย หรือผ่านการบรรจุของข้อมูลใหม่ๆ ที่เพิ่มขึ้นดังระบุไว้ในการแก้ไข ในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ขึ้นข้อมูลจะถูกทดสอบผ่านระบบควบคุมก่อนที่จะมีการนำเข้าไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้าถึงความปลอดภัย และ การวางแผน (Security Assessment and planning)

จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Dispatcher power flow) จะคำนวณสภาวะที่เสถียรภาพภายใต้เงื่อนไขที่จำลองขึ้น คล้ายๆ กับการทำงานโดยการสวิตช์ โดยจะมีการตรวจสอบการกำเนิดกำลัง และ การปรับกำลังไฟฟ้า, โวลต์ ให้เหมาะสม
- การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Contingency analysis) จะเป็นตัวแสดงผลการหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า อันเนื่องมาจากความผิดปกติของสายส่ง, เครื่องกำเนิด, ภาระทางไฟฟ้า และการชดเชยกำลังไฟฟ้า
- การคำนวณการลัดวงจร (Short cct calculation) จะคำนวณศักดาที่ bus และ กระแสลัดวงจร หลังจากเกิด fault ที่สมดุลและไม่สมดุลขึ้นมาในระบบ

การส่งเสริมการทำงาน (Operation Engancement)

- การถ่ายเทที่เหมาะสมของกำลังไฟฟ้า (Optimal power flow) จะคำนวณความเหมาะสมทั้งในปัจจุบัน และ ในอนาคตโดยการลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน, การลดค่าความสูญเสีย ในขณะที่มีการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้าเกิดขึ้น
- การบำรุงรักษาการส่งจ่าย (Remedial dispath) จะเตรียมกลวิธีที่เหมาะสมในการนำจุดที่เกิด overload และ เกิดปัญหาทางศักดา/VAR ในระบบออกไป
- ตารางของศักดาไฟฟ้า (voltage scheduler) จะมีการสร้างตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าทาง reactive ออกมา เพื่อเป็นการลดค่าความสูญเสียลง

การฝึกฝน (Training)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- เครื่องจำลองการส่งจ่ายเพื่อการฝึกฝน (Dispatch training simulator) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความชำนาญในการควบคุม และ ใช้งานในเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น

และ WAN เพื่อประโยชน์ในการสื่อสาร

- การออกแบบการส่งจ่าย ควรจะมีการจัดหาหนทาง ในการนำ hardware มาใช้ในทางที่เหมาะสม
- ควรจะมีการจัดการฐานข้อมูลด้วยวิธีที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาจริง (real - time) ของระบบ
- สถาปัตยกรรมของผู้ซื้อ และ ผู้บริการ ควรจะทำให้ส่วนของการพัฒนา และการบำรุงรักษา ถูกทำให้ง่ายขึ้น
- การประยุกต์ใช้งานในส่วนของโปรแกรมเพื่อการทำงานร่วมกัน ของหน่วยที่จะติดต่อหลายแหล่ง ควรจะเป็นไปโดยง่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การจำลองคุณลักษณะของระบบจัดการพลังงานส่งจ่าย

(Performace Simulation of Distribution Energy Management Systems)

ลักษณะโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบเปิด ของระบบคอมพิวเตอร์ควรรจะมีลักษณะต่างๆ ดังนี้ คือ

1. การทำงานในส่วนของ work station ควรรจะมีประสิทธิภาพสูง
2. ลักษณะการทำงานในระบบ ควรรจะต้องสามารถเคลื่อนย้ายได้ คือมีลักษณะ

Portable

3. ในส่วนของการแสดงผล ควรรจะมีการนำเอา full graphics windowing มาใช้

4. ในการส่งผ่านระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ควรรจะมีการนำเอาส่วนของ LAN มาใช้ ในส่วนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้จะมีผลทำให้ระบบ EMS เกิดความ economic , powerful, flexible, expandable รวมทั้งเราสามารถที่จะทำการคำนวณถึงสิ่งต่างๆ ที่ต่อรวมกันอยู่ภายใน ภายใต้สภาพการณ์หลายๆ อย่างได้ เมื่อเร็ว ๆ นี้ ทางบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้า และผู้ขายระบบ EMS ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับลักษณะของโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบเปิดของระบบ EMS เพิ่มมากขึ้น โดยผู้ขาย EMS จำนวนหนึ่งได้ทำการพัฒนาส่วนของ LAN ที่เป็นพื้นฐานของการกระจายในระบบ EMS ให้มีระดับในการกระจายการทำงานที่แตกต่างกัน รวมไปถึงการให้มีส่วนของ software ที่ได้มาตรฐาน และตลอดจนให้มีกรรมวิธีขั้นตอนการทำงานที่ดีขึ้น

ข้อเสนอสำหรับวิธีการในการวิเคราะห์

(Motivation for Performance Analysis)

ในขณะนี้เรายังไม่ทราบแน่นอนถึงความสามารถของโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบเปิดของระบบ EMS (ที่จะต้องทำให้มีการปฏิบัติงานในช่วงเวลาจริงๆ ภายในบริเวณศูนย์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าควบคุมการผลิตไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีระเบียบ) จนกว่าจะมีการทำนายเกิดขึ้นในส่วนของการกระจายต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบเปิดของระบบนี้ และพบว่าเราจำเป็นต้องมีช่วงเวลาที่ถูกรักษา

หนดขึ้นมาช่วงเวลาหนึ่งซึ่งช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการทำนายเกี่ยวกับลักษณะในการปฏิบัติงาน ที่อาจเกิดขึ้นของระบบ EMS ช่วงเวลานี้จะถูกรู้ว่าเป็นช่วงเวลา "long lead times"

ทางเลือกต่างๆ สำหรับวิธีการในการวิเคราะห์

(Alternative Methods of Performance Analysis)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเราจำเป็นต้องใช้ช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อนำมาทำการทำนายถึงลักษณะของการปฏิบัติงานที่อาจเกิดขึ้นของระบบ ดังนั้นวิธีการที่จะกล่าวต่อไปนี้จะ เป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

1) closed-form analytical methods

2) statistical methods

3) simulation methods

- continuous time simulation

- discrete time simulation

1. วิธีการวิเคราะห์ในระบบ closed form analytical methods นั้นจัดเป็นวิธีการที่ดี และถูกต้องตามหลักการ แต่ไม่สามารถที่จะนำมาใช้วิเคราะห์หาค่าตอบสำหรับในระบบที่มีขนาดใหญ่โตและซับซ้อนได้ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของระบบ

2. วิธีการวิเคราะห์ในแบบ statistical method นั้นเป็นวิธีที่จะใช้วิธีการในแบบ queueing models มาทำการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นค่าที่แท้จริง แต่จะเป็นเพียงผลลัพธ์ในทางสถิติเท่านั้น นอกจากนี้ โดยปกติแล้วในการทำให้การวิเคราะห์ได้ผลดีนั้น เราจำเป็นต้องตั้งสมมุติฐานขึ้นเพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ให้ง่ายเข้า เช่น มีการกำหนดให้ระบบเป็นแบบ "invariant system" หรือ "closed system" (กล่าวคือไม่มีข้อมูลไหลเข้าออกจากระบบเลย) ซึ่งโดยปกติแล้วข้อสมมุติเหล่านี้ จะไม่ค่อยสมเหตุสมผลในการนำมาใช้กับระบบ EMS ยิ่งไปกว่านั้น ผลลัพธ์

ของการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ ยังถูกแสดงในลักษณะของข้อมูลทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย, ค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า SD., ค่า Variance ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้จะเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการวิเคราะห์ในแบบ simulation methods จะเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการนำมาใช้

วิเคราะห์ กล่าวคือ เราสามารถที่จะทำการวิเคราะห์ถึงรายละเอียดต่างๆ ที่เราต้องการของระบบที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อนได้ โดยใช้ การ simulate วิธีการนี้ยังแบ่งออกได้เป็นอีก 2 อย่าง คือ

- continous time simulation วิธีนี้จะใช้เวลาในการ simulate ค่อนข้างนาน โดยจะทำการ simulate ไปเรื่อยๆ ในเวลาที่ต่อเนื่องกัน

- discrete time simulation วิธีการนี้จะใช้เวลาในการ simulate ค่อนข้างน้อย โดยจะทำการ simulate ในช่วงเวลาใดๆ ที่เรากำหนดขึ้น ในเหตุการณ์ที่สำคัญซึ่งเราต้องการศึกษา

การจำลองระบบ EMS (EMS Simulation)

จะอธิบายถึงความสามารถในการปฏิบัติงานของระบบ EMS โดยใช้โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบเปิด มาช่วยในการอธิบายวิธีการในการวิเคราะห์ที่ถูกเลือกใช้ในหัวข้อนี้คือ วิธีการวิเคราะห์ในแบบ discrete time simulation method โครงสร้างในขั้นนี้จะมีขนาดปานกลาง และลักษณะของ hardware ที่จะใช้ในการ simulate จะมีลักษณะเป็นแบบ open architectures ส่วนลักษณะของ software ที่จะนำมา simulate ก็ จะประกอบไปด้วยชนิดที่ทำงานใน EMS , ชนิดที่มีการทำงานใน LAN และชนิดที่ทำงานอยู่ในส่วนของ control center เป็นต้น

คำแปลศัพท์

B : Byte

b : Bit

bps : Bits per second

CPU : Central processor unit

G : Giga- , 10^9

k : Kilo- , 10^3

LAN : Local area network

M : Mega- , 10^6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดก็ตามที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- m : Milli-, 10^{-3}
- MIPS : Million instructions per second
- s : Second
- μ : Micro-, 10^{-6}

สมมติฐานเบื้องต้น (Underlying Assumptions)

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เราจะกำหนดให้ระบบ EMS มีค่า availability ที่สูงมาก เช่นในส่วนของ LAN ทั้ง 2 LAN ที่ต่ออยู่ในระบบ, และในส่วนของ computer เป็นต้น กล่าวคือ ในส่วนของการส่งผ่านข้อมูลใน LAN และ การเขียนข้อมูลลงไปใน disk ที่ถูกกำหนดให้มีค่า availability ที่สูงมากนั้น จะถูกจำลองในแบบอัตโนมัติโดยใช้ hardware ขนาดของระบบ EMS ที่มีขนาดปานกลาง จะถูกกำหนดให้มีลักษณะในการ simulation โดยจะต้องมีค่า parameter ต่างๆ ที่มีลักษณะดังนี้

1. parameters ขนาด 12,000 telemetered datapoint ซึ่งข้อมูลในบางส่วนจะเป็นแบบ Analog ที่ถูกใช้งานอยู่ในส่วนของ AGC ดังเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตกำลังไฟฟ้าในแต่ละ unit (MW) และข้อมูลของกำลังไฟฟ้าที่ผ่านส่วนของ tie/line (MW) ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 ส่วนนี้จะถูกส่งไปยังระบบ EMS ในทุกๆ 2 วินาที
2. parameters ขนาด 6,000 telemetered analog datapoint ซึ่งจะถูกส่งไปยัง EMS ทุกๆ 8 วินาที
3. parameters ที่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับ line/transformer MVA และ กระแส 3 เฟส ซึ่งมีขนาดประมาณ 2,000 points นี้จะถูกคำนวณหาค่าทุกๆ 8 วินาที

กรณีพื้นฐานในส่วนของ hardware และ ทางเลือกต่าง ๆ

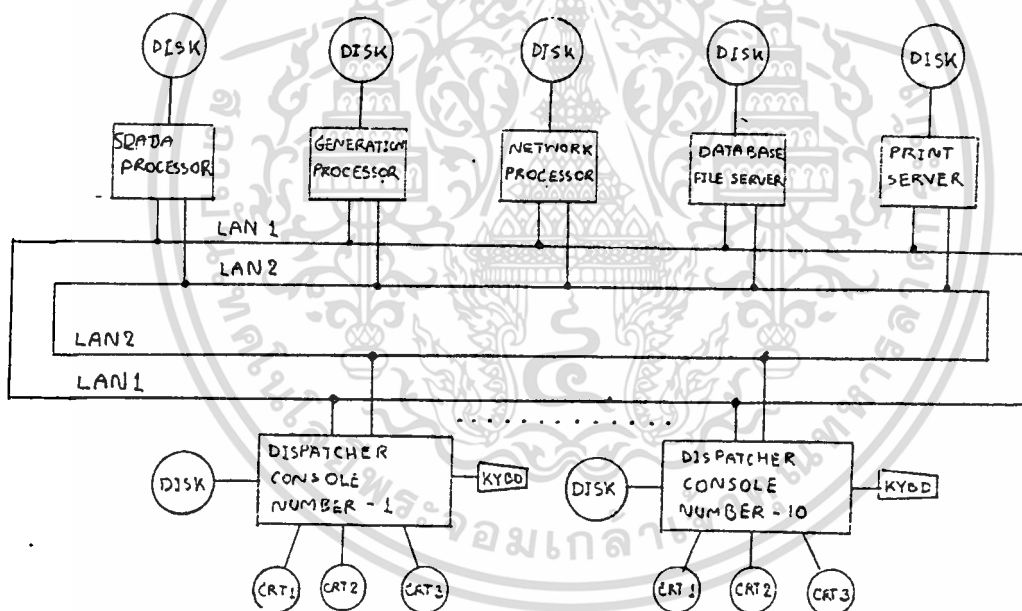
ส่วนประกอบของ hardware ในระบบ EMS จะประกอบไปด้วยส่วนของ processor ,server, dispatcher consoles และ ส่วนของ LAN 2 ส่วน ดังในภาพ 1 โดยในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า processor, server, console ทุกๆ ตัว จะต่ออยู่กับส่วนของ LAN ทั้ง 2 ส่วน และ ไม่วาร์รันตีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอย่างองู่งเงาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเป็เซ จะถูกต่ออยู่กับ LAN ใด LAN หนึ่ง ในกรณีที่อยู่ในลักษณะของ alternate

configuration

ในส่วนของ processors นั้นจะมีความสามารถในการคำนวณ (computational capability), ขนาดของ memory และ ความจุของ disk ที่มีขนาดปานกลาง

ในส่วนของ database file server นั้นจะมีความสามารถในการประมวลผล (processing capability), ขนาดของ memory และความจุของ disk เป็นจำนวนมาก อันเนื่องมาจากความจำเป็นในการที่ database จะต้องมีการทำงานร่วมกันกับ ส่วน console ตลอดเวลา

ในส่วนของ dispatcher console จะมีความสามารถในการประมวลผล (processing, capability) ขนาดของ memory และความจุของ disk ที่มีขนาดปานกลาง รายละเอียดในส่วนของ hardware ต่างๆ จะเป็นดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะ Diagram ของระบบ LAN 2 ระบบ

1 SCADA processor, 10-15 MIPS CPU, 64 MB memory, 500 MB disk

1 Generation (GEN) processor, 10-15 MIPS CPU, 64 MB memory,

500 MB disk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Network Analysis (NET) processor, 10-15 MIPS CPU, 64 MB memory, 500 MB disk

1 Database (DB) file server, 15-250MIPS CPU, 128 MB memory, 2 GB disk

1 Print server ,10-15 MIPS, 32 MB memory, 500 MB disk

10 Dispatcher consoles, 5-10 MIPS CPU, 32 MB memory, 250 MB disk, with multiple full graphics monitors

2 Ether LANs, 10 Mbps transfer rate

ในแต่ละ dispatcher console นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนของ logger ที่ต่ออยู่กับ console โดยตรง logger เหล่านี้จะถูกใช้ในการส่งสัญญาณเตือน หรือในเหตุการณ์ต่าง ๆ ดังเช่น ใช้ในการรายงานในแบบคาบ (periodic reports) หรือใช้ในการศึกษาผลที่มีความยืดยาว (lengthy study results) และเราจะต้องพิจารณาถึงส่วนของ interrupt overhead และ I/O overhead ของทุกๆ processor, server และ consoles ด้วย

การทำงานในส่วนของ software

ส่วนการทำงานของ software ในระบบ EMS จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังที่แสดงไว้ข้างล่างนี้

Faiver Function

การทำงานในส่วนนี้จะเริ่มจาก หน่วยประมวลผลของ SCADA จะทำการส่งข้อมูลออกไปยัง nodes ทุกๆ node ที่ต่ออยู่กับ LAN เมื่อ node ที่ต่ออยู่กับ LAN ได้รับข้อมูลที่ส่งมาจาก SCADA แล้ว ก็จะทำการส่งข้อมูลตอบกลับไปโดยทันที ถ้าหากว่า node ใดๆ ไม่มีการส่งข้อมูลตอบกลับไปในเวลาที่กำหนดแล้ว แสดงว่า node นั้นจะอยู่ในสถานะ fail state

Database Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ส่วนของ database ทั้งหมดจะถูกรวมอยู่ใน database file server นอกเหนือจากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบไปใช้จากนี้ในส่วนของ processor และ console ก็จะมีการนำเอาส่วนของ database

เข้ามาช่วยในการทำงานด้วย ดังตัวอย่างเช่น

1) ส่วนของ SCADA processor ได้แก่ส่วนของ point scan lists รวมไปถึงค่าจำกัดของสัญญาณเตือน (limit alarm value) ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนั้น จะมีการนำเอาส่วนของ database function มาใช้ทำงาน

2) ส่วน Gen processor ในส่วนของข้อมูลในการผลิต (data generation) นี้จะมีการนำเอา ส่วนของ database function มาช่วยในการทำงาน เช่นข้อมูลเกี่ยวกับค่า incremental heat rate curve, ค่า fuel cost ของ gen unit ในแต่ละ unit

3) ส่วน NET Processor ในส่วนของข้อมูลที่คงที่เกี่ยวกับ network ต่างๆ นี้ จะมีการนำเอาส่วนของ database function มาช่วยในการทำงาน เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับ line/transformer impedance, ค่าจำกัดของ branch overload และค่าจำกัดของ bus voltage

4) ส่วนของ console ในส่วนของการแสดงผลเกี่ยวกับ file ต่างๆ นี้ก็จะมีการนำเอาส่วนของ database function มาช่วยในการทำงาน

ข้อมูลต่างๆ ข้อมูลที่ได้มาจากช่วง scan cycle ในบริเวณ database file server นั้น จะถูกนำมาปรับปรุงโดยส่วนของ SCADA processor และเมื่อ SCADA processor ทำการปรับปรุงข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการส่งข้อมูลนี้กลับไปยังส่วนของ database file server และ ข้อมูลนี้ก็ยังจะถูกส่งไปในส่วนของแต่ละ console เพื่อทำการแสดงผลอีกด้วย จากที่กล่าวมา เราอาจจะสรุปได้ว่า ผลลัพธ์ทั้งหมดที่ผ่านการประมวลผลจาก processor แล้ว จะถูกส่งไปยังส่วนของ D.B. file server ต่อไป ดังนั้นการแสดงผลของทุกๆ ข้อมูลในส่วนของ console ก็จะต้องรอรับข้อมูลที่ส่งมาจาก D.B. file server ซึ่งเราอาจจะเรียกลักษณะของข้อมูลนี้ว่า "dynamic data" ในทำนองเดียวกัน การแสดงผลในส่วนของ console สามารถที่จะถูกเปลี่ยนข้อมูลให้ใหม่ขึ้นได้โดยการรับข้อมูลมาจากส่วนของ D.B. server

Man - Machine Interface functions

การทำงานในส่วนนี้ จะอยู่ในส่วนของ dispatcher console โดย MMI function ที่ถูก simulate มาแล้ว จะประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
1) การแสดงผลในส่วนของ display callsups และ dynamic display ซึ่งจะเกิดขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ใน console ทั้ง 10 console

2) การทำงานในส่วนของ supervisory control ซึ่งเกิดขึ้นใน 4 console

3) การทำงานในส่วนของ study execution ซึ่งเกิดขึ้นใน 4 console

Dispatcher ใน console แต่ละ console นั้นจะมีการแสดงผลโดยตลอดในทุกๆ 1 นาที และการแสดงผลในแต่ละครั้งของ console นั้น จะถูกเปลี่ยนข้อมูลใหม่ในทุกๆ 2 วินาที นอกจากนี้ การปฏิบัติงานในส่วนของ supervisory control ในแต่ละ console นั้นจะมีการทำงานทุก ๆ 30 วินาที

เนื่องจากในทุก ๆ dispatcher console จะประกอบไปด้วยส่วนของ MMI ซึ่งสามารถที่จะจัดการข้อมูลในส่วนของ code และ static display datafiles ได้อยู่แล้ว เพราะฉะนั้น dispatcher console จึงมีการรับเอาข้อมูลที่เป็นแบบ dynamic data จาก D.B. file server มาทำการแสดงเท่านั้น กล่าวคือ ส่วนของการ console จะทำการ format ส่วนของ dynamic data เข้าไปแสดงผลยัง CRT monitor

จากการ simulation ในส่วนของ display นั้น เราพบว่าจะมีลักษณะการทำงานดังนี้คือ ในส่วนของ program ในบริเวณ console จะทำการเรียกหาข้อมูลที่ต้องการไปยังส่วนของ second program ใน D.B. server หลังจากนั้น ส่วนของ second program ก็จะทำกรเรียกข้อมูลนั้นออกมา พร้อมทั้งจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับไปยัง console ส่วนของ third program ในบริเวณ console นั้นจะมีการทำงานดังนี้คือ

1) จะทำการรับข้อมูลที่จะนำมาแสดงผล (display data)

2) จะทำการ format ข้อมูลนั้น

3) ขั้นสุดท้ายจะเป็นการนำเอาข้อมูลที่ format แล้วมาแสดงผลยัง monitor screen กล่าวคือ ลักษณะในการทำงานนั้นจะเป็นดังนี้คือ D.B. server จะทำการส่งข้อมูล " dynamic display " ที่ผ่าน second program มาแล้ว เข้าไปยังส่วนของ console โดยข้อมูลที่ส่งเข้ามาจะถูกส่งเข้ามาใหม่ในทุกๆ วินาที หลังจากนั้น third program ในบริเวณ console ก็จะทำกร format ข้อมูลนั้น แล้วจึงส่งมาแสดงผลยังจอ monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การ simulation ในส่วนของ supervisory control นั้น เราจะพบว่าข้อมูลที่ต้องการจะถูกส่งไปยังส่วนของ "supervisory control program" ในบริเวณ

SCADA processor หลังจากนั้น "supervisory control program" ของ SCADA ก็จะทำกาการส่งข้อมูลนั้นกลับมายังบริเวณ console เดิมที่มีการส่งข้อมูลเข้ามายัง SCADA ซึ่งข้อมูลที่ถูกส่งกลับมาในขั้นนี้ี้จะมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการควบคุม ต่อมา supervisory control ก็จะทำกาการส่งสัญญาณไปยังส่วน RTU และหลังจากนั้น ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการควบคุมไปแล้ว ก็จะถูกส่งกลับเข้ามายังบริเวณ SCADA processor เพื่อนำไปปรับปรุงในการจัดส่งข้อมูลใน cycle ถัดไป

เนื่องจากการทำงานในส่วนของ dispatcher นั้นจะมีความไม่ถูกต้องเกิดขึ้นมาเป็นระยะ ดังนั้นในการ simulate ส่วนของ dispatcher นี้จะทำได้โดยการสุ่มช่วงเวลาในการผลิตไฟฟ้าขึ้นมาในเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยกำหนดให้มีช่วงห่างของการ simulate เท่ากัน ช่วงห่างของการ simulate ในแต่ละครั้งนี้จะถูกเรียกว่า "uniform statistical distribution centered" ตัวอย่างเช่น ในการ simulate ส่วนของ display callups จากบริเวณของ console ในแต่ละ console ถูกกำหนดให้มีการ simulate ทุกๆ 1 นาที เราจึงกล่าวได้ว่าค่า "uniform statistical distribution centered" ของการ simulate นี้จะมีค่าเท่ากับ 60 วินาทีและพบว่าขนาดของข้อมูลในส่วนของ dynamic display data สำหรับ display callups และ display refresh นั้น จะมีขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8 KB

SCADA Functions

ลักษณะการทำงานในส่วนของ SCADA processor นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ส่วนในการรับข้อมูล (data acquisition)
- 2) ส่วน supervisory control
- 3) ส่วนของการส่งผ่านสัญญาณในการควบคุมการผลิตไปยัง plant ต่าง ๆ
- 4) ส่วนของการผลิตสัญญาณเตือน (alarm processing)
- 5) ส่วนของการแสดงสถานะของ EMS (EMS status monitoring)

ส่วนในการรับข้อมูล (data acquisition) ในส่วนนี้ี้จะมีการดึงเอาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับส่วนของ AGC (เช่น ค่า MW ของ unit, ค่าสถานะของ unit, ค่า MW ของ line ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าต่อกันอยู่ (tie-line MW) และค่าความถี่) รวมไปถึงข้อมูลในส่วนของ status data แม้ว่าทุกชิ้นๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ี้ จะถูกดึงมาจากส่วนของ RTU ในทุกๆ 2 วินาที นอกจากนี้ยัง

มีการดึงเอาข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นข้อมูลแบบ analog มาจาก RTU ในทุก ๆ 8 วินาที ซึ่งใน ส่วนของ RTU นั้นจะถูกสมมุติให้ต่อเชื่อมอยู่กับส่วนของ front end processor (FEP) โดยต่อเชื่อมถึงกันผ่านทาง modems และ communication line switch โดยในส่วน FEP เองนั้นก็จะมีการต่อเชื่อมถึงกันโดยตรงกับส่วนของ SCADA processor ดังนั้นข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก RTU จะไม่ได้ส่งมายัง LAN ที่ต่ออยู่กับ SCADA processor แต่จะทำการส่งผ่านมายังส่วนของ FEP ก่อน ในทำนองเดียวกัน การส่งผ่านสัญญาณควบคุมไปยัง RTU นั้น จะมีการส่งสัญญาณนี้มาจาก SCADA processor ส่งผ่านไปยัง FEP ก่อนด้วย เหมือนกัน

รูปแบบของ RTU, FEP, modems และ communication line switch ตลอดจนรูปแบบในการติดต่อถึงกันระหว่าง RTU, FEP และ SCADA นั้นจะมีรูปแบบที่ค่อนข้างง่ายไม่ซับซ้อน

ลักษณะการทำงานของ SCADA processor ในส่วนของการทำงานที่เกี่ยวข้องกับ data acquisition function (DAC) นั้นจะประกอบไปด้วยการทำงานในส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ

- 1) data acquisition
- 2) periodic data calculations
- 3) limit checking
- 4) alarm processing

โดยการทำงานในส่วน DAC จะถูก simulate

ในสภาวะที่การทำงานของระบบ power system อยู่ในสภาวะปกติ (normal power system activity state) ระบบจะมีการส่งสัญญาณ alarm ออกมา 1 ครั้ง ในทุกๆ 2 วินาที ของวัฏจักรในการรับข้อมูล (data acquisition cycle) ส่วนในสภาวะที่การทำงานของระบบ power system อยู่ในสภาวะ "peak" แล้ว (peak power system activity state) ระบบจะมีการส่งสัญญาณ alarm ออกมา 20 ครั้ง ในทุกๆ 2 วินาที ของ data acquisition cycle และสัญญาณ alarm จะถูกส่งไปยังทุกๆ console ในทุก ๆ 2 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ AGC จะถูกส่งไปยังส่วนของ GEN processor ในทุกๆ 2 วินาที ไม่วาร์ณมีเหตุ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินาที ข้อมูลในช่วงเวลาจริงๆ ของ network จะถูกส่งไปยัง NET processor ในทุกๆ

10 นาที หรือในขณะที่มีเหตุการณ์สำคัญเกิดขึ้น เช่น การทริปของ breaker, การทริปของ unit เป็นต้น

ลักษณะของสัญญาณของ console pulse ซึ่งถูกส่งออกมาจาก AGC และถูกส่งมายังส่วนของ SCADA processor ในทุก ๆ 2 วินาที เพื่อที่จะถูกส่งต่อไปยังส่วนของ RTU ใน plant ต่างๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมการทำงานของ AGC ที่ถูกส่งมาจาก GEN processor

Generation Control / Dispatch / Scheduling Functions

ส่วนของ Gen processor นี้จะประกอบไปด้วยการทำงานทั้งหมด ทั้งในส่วนของการ generation control/dispatch/scheduling function ดังต่อไปนี้ คือ

- 1) ส่วนของ automatic generation control (AGC)
- 2) ส่วนของ economic dispatch
- 3) ส่วนของ reserve monitoring
- 4) ส่วนของ control performance monitor
- 5) ส่วนของ production costing
- 6) ส่วนของ interchange scheduling
- 7) ส่วนของ unit commitment (UC)
- 8) ส่วนของ transaction evaluation (TE)

AGC ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Gen processor นั้น จะทำงานในทุกๆ 2 วินาที โดยจะเป็นการทำงานในการรับข้อมูลต่างๆ ซึ่งถูกส่งมาจากส่วนของ SCADA processor โดยข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับ AGC ในช่วงเวลา realtime ของระบบ และพบว่า สัญญาณควบคุมที่ส่งออกมาจาก AGC นั้น จะถูกส่งกลับไปยังส่วนของ SCADA processor ในทุกๆ 2 วินาที เพื่อที่จะทำการส่งผ่านไปยังส่วนของ RTU ใน plant ต่างๆ

ED จะมีการทำงานในทุกๆ 5 นาที โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการผลิต (generating system) เช่น unit trips, tieline trips เป็นต้น reserve monitor จะ run ทุกๆ 30 วินาที, production costing จะ run ในทุก ๆ 5 นาที และส่วนของการ interchange scheduling จะ run ในทุกๆ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ส่วนในการศึกษาเกี่ยวกับ transaction evaluation และการศึกษาเกี่ยวกับ unit commitment นั้นจะทำโดยการสุ่มช่วงเวลาในการศึกษาขึ้นมาในเวลาใด เวลา

หนึ่งซึ่งอยู่ในช่วง simulation time interval ที่เราต้องการ simulate ข้อมูล i/p ของ TE และ UC ที่เป็นแบบ save case data นั้น จะถูกส่งไปยังส่วนของ DB. server และ พบว่าขนาดของ i/p และ ของ data files จะมีขนาดประมาณ 1 MB

Network Analysis Functions

ส่วนของ NET processor นี้จะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ของวงจรทั้งหมด เช่นการวิเคราะห์ในส่วนของ network topology, state estimator, bus load forecast ,external network estimator, penalty factor calculation, contingency selection/analysis, security constrained dispatch, voltage scheduling, optimal power flow, และ dispatcher load flow

ส่วนของ NET processor นี้ ยังสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกได้เป็น 2 อย่าง คือ

1) ส่วนของการวิเคราะห์ในช่วงของการทำงานจริงๆ (realtime network sequence) จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ คือการวิเคราะห์ในส่วนของ network topology, state estimator/external network estimator, penalty factor calculation, contingency selection/ analysis, security constrained dispatch และ voltage scheduling โดยส่วนนี้นั้น การ execute จะเกิดทุก ๆ 10 นาที หรือการ execute อาจเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดกรณีต่างๆ ที่จำเป็น

ตัวอย่างเช่น ค่า penalty factor ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ในช่วง realtime network sequence ของ NET processor นี้จะถูกส่งไปทำงานในส่วน economic dispatch ที่อยู่ใน GEN processor ในลักษณะเดียวกัน ค่า security constrained limit ซึ่งถูกหามาได้โดยการวิเคราะห์ในส่วนของ security constrained dispatch ของ NET processor นี้ ก็จะถูกส่งไปทำงานในช่วง economic dispatch และ ช่วงของ AGC ที่อยู่ใน GEN processor

2) ส่วนการวิเคราะห์ในช่วงของ study function อันได้แก่ การวิเคราะห์ใน ส่วนของ optimal powerflow (OPF) และ dispatcher load flow (DLF) ซึ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สมบูรณ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทำงานในส่วนนี้ จะทำโดยการสุ่มช่วงเวลาในการศึกษาขึ้นมาช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ไม่วากรมณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล i/p ในส่วนของ OPF และ DLF ที่เป็นแบบ save case data นั้นจะ

ถูกส่งมาจาก DB. file server โดยขนาดของ i/p และ o/p ของ OPF และ DLF จะมีขนาดเท่ากับ 1 MB และเมื่อ OPF และ DLF ทำการวิเคราะห์ผลเสร็จแล้ว ก็จะถูกส่งไปยังส่วนของ DB. serve

LAN Functions

ข้อมูลทั้งหมดที่ถูกเคลื่อนย้ายในระหว่าง node (นั่นคือ processor, servers, consoles) นั้นจะถูกส่งผ่านระหว่างกันโดยใช้ LAN กล่าวคือ ข้อมูลต่างๆ ในส่วนของ file transfer, data messages, control signal และ co-ordinate signal ที่ถูกส่งผ่านระหว่างส่วนของ servers, processors และ console โดยใช้ LAN จะถูกนำมา simulate โดยการ simulate ในส่วนนี้จะมีทั้งการส่งผ่านข้อมูลใน LAN ทั้ง 2 LAN มีดังนี้คือ ข้อมูลที่มีความสำคัญมากกว่า (high priority) จะถูกส่งผ่านมายัง LAN1 ส่วนข้อมูลที่มีความสำคัญน้อยกว่า จะถูกส่งผ่านมายัง LAN 2 โดยข้อมูลที่เป็น high priority ก็คือข้อมูลที่มีลักษณะแบบ high periodicity data และ/หรือ ข้อมูลที่มีขนาดเล็ก ส่วนข้อมูลที่เป็น low priority นั้น ก็คือข้อมูลที่มีลักษณะแบบ low periodicity data และ/หรือ ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านเข้าไปยังส่วนของ LAN1 มีดังนี้คือ

- 1) ส่วนของข้อมูลที่ถูกส่งจาก SCADA ไปยัง DB.file server
- 2) ส่วนของข้อมูลที่ SCADA ทำการส่งออกมายัง node แต่ละ node เพื่อตรวจสอบสภาวะของการ failover

- 3) สัญญาณ control signal ที่ถูกส่งออกมาจาก AGC ใน Gen
- 4) สัญญาณ control signal ที่ถูกส่งออกมาจากส่วนของ SCADA
- 5) ส่วนของข้อมูลที่จะถูกส่งมาแสดงผลใหม่ (display refresh data)

ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามายัง LAN2 ก็คือ

- 1) display data
- 2) ส่วนของ study i/p save case
- 3) ส่วนของผลลัพธ์ที่ออกมาทาง o/p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Parameters

จะเป็นค่าผลลัพธ์ทาง parameter ต่างๆ ที่เราจะได้รับ ภายหลังจากการ simulate แล้วโดยตารางที่ 1 จะแสดงถึงส่วนของ o/p parameter ต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่เราสนใจคือ

- LAN performance statistics
- Utilization statistics
- Time response statistics

ตารางที่ 1 ค่า Output Parameters ของ EMS Performance Simulation

LAN Statistics :

Ethernet collision episodes
 Ethernet collided transfers
 Ethernet transfer deferrals
 Ethernet deferral delay , average
 Ethernet deferral delay , standard deviation
 Ethernet deferral queue size , average
 Ethernet deferral queue size , standard deviation
 Message usage time , average
 Message usage time , standard deviation

Utilization Statistics :

SCADA processor

GEN processor

NET processor

DB file server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 dispatcher consoles, average

10 dispatcher consoles, maximum

LANs

Response Time Statistics :

Display callup, average

Display callup, maximum

Display callup, deviation

Supervisory control actions, average

Supervisory control actions, maximum

Supervisory control actions, standard deviation

Data acquisition functions, average

Data acquisition functions, maximum

Data acquisition functions, standard deviation

Automatic generation control

Real-time network sequence

Dispatcher load flow

Optimal power flow

Unit commitment

Transaction evaluation

1. ส่วนของ LAN Performace statistics นั้นจะเป็นส่วนที่บ่งบอกว่า มีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้นเป็นจำนวนกี่ครั้งและมีการ delay เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการชนกันที่ครั้งสถานะ collision episode คือสถานะที่เริ่มต้นจากการที่สถานะของ LAN มีการเปลี่ยนแปลงจาก สถานะ busy ไปเป็นสถานะ collision (กล่าวคือมี node อย่างน้อยจำนวน 2 node พยายามที่จะขอใช้ LAN ในเวลาเดียวกัน) และสิ้นสุดลงเมื่อ LAN ไม่ได้อยู่ในสถานะ collision อีกต่อไป และกล่าวได้ ในสถานะ collision episode 1 สถานะนั้น อาจจะมีการชนกันของข้อมูลในหลายๆ ครั้งเกิดขึ้นได้

สภาวะ LAN deferral จะปรากฏขึ้นเมื่อ node มีการเตรียม พร้อมทั้งจะใช้ LAN แต่ไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจาก LAN กำลังอยู่ในสถานะ busy กล่าวคือ สภาวะ LAN deferral จะเริ่มต้นขึ้นเมื่อ node ค้นพบว่า LAN กำลังอยู่ในสถานะ busy และ สภาวะ LAN deferral จะจบลงเมื่อการส่งข้อมูลเสร็จสิ้นลง เมื่อ node พบว่า LAN อยู่ในสถานะ busy นั้น node จะทำการหน่วงเวลาเอาไว้ เพื่อรอช่วงเวลาที่สามารถใช้ LAN ได้ โดยขั้นตอนของ node จะมีดังนี้

1) node อยู่ในสภาวะ deferring

2) หยุดสภาวะ deferring

3) รอเวลา

4) พยายามที่จะรับสัญญาณควบคุมจาก LAN ให้ได้ ถ้าหากว่า LAN ยังคงอยู่ในสภาวะ busy node ก็จะดำเนินการตามขั้นตอนนี้ต่อไปจนกระทั่ง node ได้รับสัญญาณควบคุมจาก LAN ว่าให้ส่งข้อมูลมาได้ จึงจะเป็นการหลุดออกจากสภาวะ LAN deferral

2. ส่วนของ Utilization parameters จะเป็นส่วนที่บ่งบอกถึงค่าที่เป็น % ของเวลา เมื่อ hardware ในส่วนต่างๆ อยู่ในสภาวะ busy โดยเราจะพบว่าค่า Utilization ของ print server จะไม่ถูกนำมาแสดงในตาราง ทั้งนี้เนื่องจากส่วนของการ printing นั้นไม่สามารถที่จะถูก simulate ได้ และยังพบอีกว่าค่า Utilization ในส่วนของ console loggers ก็จะไม่ถูกนำมาแสดงในตารางด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ส่วนของ logger จะถูกสมมุติให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมาก

3. ส่วนของ response time statistic นั้นจะเป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก กล่าวคือจะเป็นส่วนที่บ่งบอกถึงความรวดเร็วในการทำงานของระบบ EMS อันประกอบไปด้วยส่วนของการแสดงผล, ส่วนของ supervisory control, ส่วนของ real time network sequence, ส่วนของ DLF, ส่วนของ OPF, ส่วนของ UC, ส่วนของ TE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 The China Light and Power Company Energy Management System

ประเทศฮ่องกง เป็นประเทศเล็ก ๆ ซึ่งมีความหนาแน่นของประชากรประมาณ 1,000 ตร.กม. บนบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศจีน โดยมีบริษัทที่ทำหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอยู่ 2 บริษัท ได้แก่ China Light and Power Co., Ltd. (CLP) และ Hong Kong Electric (HEC) โดย CLP จะทำหน้าที่รับผิดชอบในบริเวณอาณาเขตหลักๆ ของฮ่องกง อันได้แก่ เกาลูน, บริเวณภายนอกชุมชนห่างไปจากเกาะ ในขณะที่บริเวณที่เหลืออันได้แก่ Aplichau และ Lamma Islands จะถูกรับผิดชอบโดย HEC. โดยเราจะพบว่าค่า peak demand ในระบบของ CLP นั้นจะมีค่าประมาณ 3 เท่าของ HEC

CLP มีการต่อในระบบร่วมกับ HEC ด้วย transformer feeders ขนาด 240 MVA 400/132 KV จำนวน 2 ตัว CLP จะทำการ operates ในระบบ transmission และ distribution system ณ ระดับของ voltage ที่ 400, 132, 66, 33 และ 11 KV โดยระบบของ CLP จะครอบคลุมลูกค้าประมาณ 1.35 ล้านคนและพบว่า load ที่ CLP จ่ายนั้น มีการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา ประมาณปีละ 9 % โดยมีสถิติค่าความต้องการสูงสุด อยู่ในช่วงฤดูร้อนของปี 1988 คือ 3,849 MW และจะทำให้เราประมาณการได้ว่า ค่า peak ของปี 1989 นั้น จะประมาณ 4,150 MW CLP มี plant ที่ทำการผลิตไฟขนาดต่าง ๆ กันตั้งแต่ 50 MW ถึง 680 MW โดยมีกำลังผลิตติดตั้งรวมทั้งหมดเป็น 5,504 MW

ลักษณะในการทำงาน (Control Operational Description)

ใน network และระบบที่มีการต่อร่วมกันของ CLP ทั้งหมดนั้น จะถูกตรวจสอบและควบคุมโดย control center 1 center ที่ประกอบไปด้วยห้องควบคุม 2 ห้อง โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ห้องแรกจะรับผิดชอบเกี่ยวกับ การควบคุมการผลิต และเชื่อมโยงต่างๆ (generation/ transmission control) และ อีกห้องหนึ่งจะทำการควบคุมเกี่ยวกับการ

distribution โดยอาคารของ control center นั้น จะถูกออกแบบโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการใช้งาน และ ได้เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ 1984 ภายในบริเวณของ control center นั้นจะประกอบด้วยห้องคอมพิวเตอร์ office และ work shops สำหรับพวก staff , training simulator , อุปกรณ์การสื่อสาร และ อุปกรณ์ backup power suppliers

อุปกรณ์ในการตรวจสอบ และควบคุมของ control center ที่ถูกต้องอยู่กับระบบ EMS นั้นจะลดขนาด จาก 400 KV เหลือเพียง 11 KV เมื่อถูกนำมาใช้งานใน primary substation โดยในระบบการจ่ายของ primary substation นั้น จะเป็นระบบที่ทำกรจ่ายหม้อแปลง 3x35 MVA หรือ 3x50 MVA stepdown 132, 66, 33 KV/11 KV

ในระบบการจ่ายไฟ 11 KV นั้นจะประกอบไปด้วยการจ่ายด้วยสาย cable 11 KV ที่ยาวประมาณ 2,900 KM และการจ่ายด้วยสาย overhead line 11 KV ที่ยาว = 1,000 KV จ่ายไปยัง substation 5,700 sub และ หม้อแปลง 3,400 pole mounted transformers โดยระบบจะประกอบไปด้วย CB control ที่มากกว่า 13,000 ตัว

ระบบ DIDS จะเป็นระบบที่ใช้ในการปรับปรุงสถานะของการ distribution โดยใช้ fullgraphic colour's CRT ระบบ DIDS จะถูกควบคุมโดย control staff ซึ่ง control staff นี้ก็จะได้รับข้อมูลต่างๆ จาก staff ที่เกี่ยวข้อง เพื่อร่วมกันในการวางแผนเกี่ยวกับการ switching การตรวจสอบ fault และการเสริมการทำงานของระบบ โดยข้อมูลต่างๆ ทั้งหมดที่ถูกส่งเข้ามาในแต่ละครั้งนั้นสามารถที่จะเชื่อถือได้ ระบบ DIDS ถูกนำมาใช้งานเป็นครั้งแรกในปี 1986

Energy Management System (EMS)

ระบบ EMS ถูกนำออกมาใช้ในปี 1984 และถูกนำมาแทนที่ระบบ SCADA (ซึ่งถูกใช้ตั้งแต่ปี 1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EMS ARCHITECTURE

จะมีลักษณะโดยทั่วไปดังนี้

1. จะมีการคาดการณ์การขยายพื้นที่ในการบริการเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับอนาคตในอีก 2-3 ปีข้างหน้า โดยจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการทำงานต่างๆ ของระบบ EMS เช่น ในส่วนของ AGC , Economic Dispatch, Reserve Monitoring, State Estimation, On-line load flow, Security Assesment และ Short cct. analysis programs ที่จะมารองรับการขยายตัวของการบริการด้วย

2. เนื่องจากว่าระบบ EMS นั้นเป็นระบบที่จะมีการคาดการณ์การขยายตัวที่เพิ่มขึ้นของ load ซึ่งจะทำให้ทั้ง database และ display จะถูกเปลี่ยนและ ปรับปรุงไปอยู่บ่อยๆ โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น มีความจำเป็นที่จะต้องมีการปฏิบัติการแบบ On-line เพราะฉะนั้นระบบ control system จะต้องมีความน่าเชื่อถืออย่างสูง และอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องไม่เกิดสภาวะ off-line ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงปรากฏขึ้น

3. เนื่องจากว่า EMS เป็นระบบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้ในการควบคุม และในการทำงานของระบบ EMS นั้นควรจะต้องไม่เกิดอุปสรรคใด ๆ ในระหว่างการปฏิบัติงาน ดังนั้น ควรจะต้องมีการเพิ่ม RTU เข้าไปในระบบ EMS เพื่อให้การทำงานดีขึ้น

4. ควรจะต้องมีโปรแกรมการฝึกงานสำหรับ วิศวกร, dispatchers และ เจ้าหน้าที่ฝ่าย maintenance เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของระบบ ทั้งนี้จะต้องไม่ก่อให้เกิดการแทรกแซง หรือกระทบต่อการทำงานปกติของระบบ (control system)

5. ควรจะมีการตรวจผลกระทบที่มีต่อเหตุการณ์ต่างๆ ในระบบ power system เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด และมีความปลอดภัยที่สุด โดยทำการรักษาสภาพของส่วนต่างๆ เช่น ความถี่ของระบบ , ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงภายในค่า cct.loading และค่าของ voltage ให้อยู่ในค่าที่กำหนดเอาไว้

6. ควรจะมีการสร้างและรักษาสถานะในการทำงานที่เกี่ยวกับการ control ในระบบ power system เพื่อให้อยู่ในสภาพ steady state เพื่อให้ได้ผลดีที่สุด และควรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จะมีการตั้งเป้าหมายวัตถุประสงค์ในการทำงานด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ควรจะมีการตรวจตราถึงผลกระทบของ fault ที่เป็นไปได้ในช่วงเวลา real

-time ของระบบ power system และควรจะมีการนำ monitor มาใช้ในการแสดงถึงลักษณะของ fault และ check ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในสภาวะ steady state ของระบบ

8. จัดหาวิศวกรควบคุม เพื่อมาใช้เครื่องมือในการทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับสภาวะการทำงานของระบบ

9. จัดหาวิศวกรควบคุม เพื่อมาทำการตรวจสอบถึง ผลกระทบต่าง ๆ ในการควบคุม เพื่อให้ถูกต้อง, รวดเร็ว

เพื่อที่จะให้เกิดการบรรลุวัตถุประสงค์นั้น ระบบในการควบคุมจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแบบ on-line facility และ off-line facility โดยอุปกรณ์แบบ on-line facility จะถูกออกแบบมาสำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่องของระบบ SCADA / EMS system และเพื่อใช้ในการรองรับการขยายตัวของระบบไฟฟ้า ในการทำงานของระบบ EMS นั้นจะมีการทำงานโดยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ นั่นคือ

- process level
- pre-process level

โดยทั้ง 2 ระดับนั้น จะมีการต่อร่วมกันภายใน เพื่อเป็นการ share memory ระหว่างกัน และ เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถืออย่างสูง ดังนั้นจึงต้องมีจำนวนของ computing element เป็นจำนวนมากในทั้ง 2 ระดับ อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า memory จะถูก share ในลักษณะที่เป็นแบบ redundant mirror image เพื่อให้การทำงานของระบบ มีความเชื่อถืออย่างสูง

ลักษณะพื้นฐานของระบบ EMS ที่ถูกนำมาใช้งาน จะประกอบไปด้วย

1) สถานี dispatcher workstation จำนวน 5 สถานี โดยในแต่ละสถานีจะมีส่วนของ VDU สถานีละ 3 ตัว

2) สถานี dispatcher workstation จำนวน 4 สถานี โดยในแต่ละสถานีจะมีส่วนของ VDU สถานีละ 2 ตัว ในส่วนของ 3-VDU workstation นั้นจะตั้งอยู่ในบริเวณห้องที่ใช้ในการควบคุม ทั้ง 5 ห้อง ในขณะที่ 2-VDU workstation นั้น จะถูกตั้ง

อยู่ในบริเวณของห้องคอมพิวเตอร์, office ที่ใช้ในการวางแผนการทำงาน, office ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าใช้ในการพัฒนาระบบ และ ในส่วนของ viewing Gallery โดยในการแยกส่วนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูแต่สิ่งเนื้อหาและต้องอย่างองเงเงใจ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการน ไปใช้ผ่านของ software จะช่วยทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า ในแต่ละ workstation นั้น

สามารถที่จะทำการปฏิบัติหน้าที่ตามที่กำหนดไว้ได้ ดังเช่นการทำงานในบริเวณของห้องควบคุมทั้งในส่วนของการควบคุม และการส่งสัญญาณเตือน

อุปกรณ์ off-line facilities นั้นจะประกอบไปด้วย computer 1 เครื่อง, disc และ อุปกรณ์ที่ถูกต้องเชื่อมแบบขนานอยู่กับระบบ on-line system โดยมีการ link กันกับระบบ on-line ในแบบ high speed data link โดย facilities เหล่านี้จะประกอบไปด้วย

- 1) work station 1 station ที่ประกอบไปด้วย VDU 2 ตัว
- 2) 3 interactive computer consoles (CRT terminals)
- 3) line printer

เราจะมีการใช้อุปกรณ์แบบ off-line facilities ในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

- ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม
- ใช้ในช่วงที่มีการตรวจสอบ หรือ บำรุงรักษา
- ใช้ในการฝึกอบรมบุคคลในหน่วยงาน เป็นต้น

โดยอุปกรณ์ในแบบ off-line facilities นี้จะถูกนำไปเป็นส่วน spare part ของ ระบบ on-line EMS system หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ระบบ off-line system นี้ก็คือระบบ standalone systems operator training simulator (SOTS) โดยรายละเอียดของระบบ SOTS นี้จะถูกกล่าวในช่วงหลัง

การประยุกต์ใช้งานในส่วนของระบบ EMS

ระบบ EMS จะประกอบไปด้วยส่วนของ power system application functions (software) ดังต่อไปนี้

Automatic Generation Control / Economic dispatch

ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะอยู่ใน hardware ในส่วนของ GEN processor โดย AGC program จะถูกนำมาใช้ในการทำงานเพื่อเป็นการรักษาความถี่ของระบบ และ เพื่อเป็นการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับค่าเริ่มต้นของ load ในระบบภายใน line เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าที่ tie กันอยู่ โดยค่าเริ่มต้นจะถูกกำหนดโดย control engineers และยังคงต้องมีการปรับตั้งให้เหมาะสม อีกทั้งยังมีเหตุตึงเครียดของเงินทองของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ บังคับให้การ generation นั้นจะต้องอยู่ในช่วงของค่าสูงสุด และ ค่าต่ำสุด ทั้งนี้เพื่อ

เหตุผลในด้านความมั่นคง (security) ของระบบ

Interchange Scheduling (I/S)

I/S program ซึ่งอยู่ในส่วนของ GEN processor จะเป็นโปรแกรมที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดย control engineer กล่าวคือ control engineer จะเป็นผู้คอยตรวจสอบ, ป้อนค่า, ลบค่า, แก้ไขปรับปรุง ค่าของพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลง ภายในช่วงเวลาประมาณ 1 ปี

Advanced Security Assessment

advanced power system applications software (APPS) ซึ่งอยู่ในส่วนของ NET processor จะเป็น software ของระบบที่ถูกใช้โดย control engineers เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพ และความมั่นคงของระบบ power system รวมทั้งยังเป็นการทำให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดย APPS จะถูกใช้ภายใต้เงื่อนไข 2 ประการคือ real-time modes และ study modes

1) Real-time Security Analysis (RTSA) program ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การทำงานในช่วงเวลาจริง ๆ ของระบบ จะประกอบไปด้วยการทำงานในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Network Topology
- State Estimator / External Network Estimator
- Penalty Factor Calculation
- Contingency Selection / Analysis
- Security Constrained Dispatch
- Voltage Scheduling

2) Study Network Analysis (STNA) Program จะประกอบไปด้วยการทำงานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- Optimal Power Flow (OPF)
- Dispatcher Load Flow (DLF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ software ที่ใช้เสริมการทำงานของระบบ EMS

เป็นส่วนส่งเสริมการทำงานของระบบ จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

Economy Interchange

เป็นโปรแกรมหาค่าของการเปลี่ยนแปลงภายในที่เป็นไปได้ เพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ

Capacitor Bank Swithing

จะประกอบไปด้วย cap bank 5 MVAR 100 ตัว ติดตั้งอยู่ที่ระดับแรงดัน 11 KV โดยจะมี program ที่ควบคุมการ switching ของ cap ว่าจะมีการทำงานในแบบ in หรือ out หลังจากที่มีนได้ทำการตรวจสอบค่าของ Voltage และ loading ไปแล้ว

Load Shedding Programme

ในการทำงานที่ความถี่ต่างๆ นั้น เรามีความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงค่าความถี่ขึ้นมาให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดย program นี้ จะทำการควบคุมโดยวิศวกรที่จะต้องทำให้เกิดการ trip C.B. กล่าวคือ ลักษณะการ trip จะต้องเป็นการ trip C.B. ในลักษณะที่เป็นแบบ trip ไปทั้งกลุ่ม โดยไม่ให้เกิดการ trip C.B. เพียงตัวใดตัวหนึ่ง

EMS to IBM PC Data transfer

โปรแกรมนี้จะได้รับข้อมูลแบบ real-time data ของระบบ power system มาเป็นจำนวนมาก และจะทำการส่งข้อมูลนี้ไปยัง IBM PC โดยจะได้รับการถอดรหัส และถูกนำไปเก็บไว้เป็น received data IBM PC จะเป็น network ที่ต่ออยู่กับสถานที่อื่นภายนอกดังตัวอย่างเช่น ในการ management ที่ office นั้น IBM ก็จะถูกต่ออยู่กับ head office และเรายังสามารถที่จะพิจารณาถึง

- 1) สถานะที่เป็นอยู่ของ generator loading
- 2) interchange
- 3) system demand

โดยทั้ง 3 ส่วน จะทำการพิจารณาร่วมกันกับ information sheet จำนวนมากที่ถูกเตรียมขึ้นมาโดย staff ที่อยู่ในห้องควบคุม ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ ข้อมูลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าเกี่ยวกับ load estimation, plant และ cct availability เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Generation Subsystem (RGS) Data Transfer to IBM PC

ระบบ EMS จะรวมไปถึงส่วนของ RGS program ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลของระบบทั้งระบบ ที่เป็นแบบ analogue values เข้าไว้ ทุก ๆ ชม. ใน 48 ชั่วโมง โดยการส่งผ่านของข้อมูลนี้ไปยัง IBM PC นั้นจะสามารถทำได้โดยใช้วิธีการที่กล่าวไปในเบื้องต้นแล้ว RGS Program นี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาบน IBM PC และข้อมูลของ RGS program ก็จะถูกนำไปเตรียมเพื่อทำ security report ซึ่งจะประกอบด้วย ค่า highlights ของ transformer แต่ละตัว, ค่า substation peak loading และค่าเวลาที่เหตุการณ์ปรากฏขึ้น โดยข้อมูลเหล่านี้ จะช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับการทำงานของ

1) transformer

2) substation ในส่วนของ loading curve ภายในเวลา 24 ชม. แต่ก็ไม่ได้ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆ สำหรับการตรวจสอบ และการวางแผนการทำงานทั้งนี้ เนื่องจาก ทุก ๆ แผนกภายในบริษัทนั้น จะมีส่วนของ PC ที่มีข้อมูลซึ่งสามารถส่งผ่านไป ได้โดย diskette ซึ่งก็จะช่วยในการตรวจสอบ และการวางแผนการทำงานอยู่แล้ว

Analog Alarm Suppression During System Disturbance

การลดต่ำลงของ transient voltage อันเนื่องมาจาก การเกิดขึ้นของ fault ที่ disconnect load ในระดับ 400 KV และ 132 KV นั้นจะส่งผลให้ระดับของ voltage ที่ไหลออกสู่ระบบเพิ่มขึ้น ซึ่ง voltage ที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถที่จะ generate สัญญาณเตือนได้อย่างทันทีทันใด ภายหลังจากที่ระบบเกิดการผิดปกติขึ้น

เนื่องจาก control engineer นั้นทราบที่อยู่แล้วถึงความเป็นจริงที่ว่า ค่าของ voltage ตลอดทั้งระบบนี้มีค่าสูงมาก ดังนั้นเขาจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงค่า voltage นี้ทุกๆ substation หรือ ในทุก ๆ section ของ busbar

เมื่อระดับของ voltage สูงขึ้นมาจนถึง 1/3 ของ voltage ของระบบ แล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า relays ก็จะทำให้เกิดการทำงานโดยจะส่งสัญญาณเตือนออกมา โดยจะมี Program ที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สามารถส่งผ่านสัญญาณเตือนนี้ออกมาเป็นเวลานานประมาณ 3 นาที เมื่อมี voltage

ที่ผิดปกติเกิดขึ้น และ จากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นนี้เราจะพบว่าเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติขึ้นแล้ว ระดับของสัญญาณเตือนประมาณ 73 % ของทั้งหมด (532 alarms) จะถูกส่งออกมาในช่วง 3 นาทีแรก และจากประสบการณ์ที่มีการใช้ program นี้มาเป็นเวลาประมาณ 1 ปี สามารถที่จะสรุปได้ว่า program นี้สามารถที่จะช่วยลดความยากลำบาก ในการทำงานลงไปได้อย่างมาก

ในส่วนของการ display ใน program นี้ ก็จะมีการแสดงเกี่ยวกับค่าของ voltage ในทุกๆ busbar รวมถึงมีการแสดงเกี่ยวกับ ค่าของ voltage ที่เกิดการผิดปกติขึ้นโดยแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดโดยการใช้สี จะเป็นการช่วยเตือน staff ที่ทำการควบคุมให้ทราบในเวลาที่มีระดับ voltage ที่ผิดปกติเกิดขึ้น

ประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับระบบ EMS

ระบบ EMS ได้ถูกนำมาใช้จนถึงปัจจุบันเป็นเวลามากกว่า 5 ปี และผลที่ได้จากการใช้ระบบ EMS นี้ค่อนข้างน่าพอใจ และพบว่าค่า availability โดยเฉลี่ยที่ถูกบันทึกเอาไว้ตลอดช่วง 24 เดือนที่ผ่านมา มีค่าประมาณ 99.86 %

อย่างไรก็ตาม CLP ก็ยังคงต้องเผชิญกับปัญหา อุปสรรคต่างๆ มากมาย ซึ่งก็พบว่าในหลายๆ สัปดาห์ด้วยกันที่การลงมติแก้ไข เป็นไปอย่างค่อนข้างน่าพอใจ ปัญหาต่างๆ มากมายเหล่านี้ จุดหลักของปัญหามักจะอยู่ที่

1. ความผิดพลาดเกี่ยวกับ memory ที่ถูก share ระหว่างกัน
2. ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการ interface ซึ่งเป็นปัญหาที่เราจะพบว่าค่อนข้างเป็นการยากมากในการที่เราจะบ่งชี้ถึงจุดที่ทำให้เกิดปัญหา ด้วยเหตุผลนี้เอง จึงทำให้ CLP สูญเสียความมั่นใจในด้านการ share memory ระหว่างกัน ข้อบกพร่องในด้านอื่นๆ ก็ได้แก่การเกิด failover ขึ้น ซึ่งจะกินเวลาประมาณ 2-3 นาที

ปัจจัยหลักที่ช่วยทำให้ ค่า availability สูงขึ้นนั่นก็คือ การทำงานของ software และ hardware maintenance team ควบคู่ไปกับการสนับสนุนจากผู้ผลิต

เราค่อนข้างมั่นใจได้ว่า staff ของ CLP นั้นมีความชำนาญในสาขาเหล่านี้ ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากทาง staff ได้รับการฝึกฝนในด้านต่างๆ จากผู้ผลิตทั้งในระหว่าง การสร้าง EMS system ที่ประเทศของผู้ผลิตใน Florida USA และ ในระหว่างการ

ดำเนินการในสัญญา

รวมทั้งยังมั่นใจได้ถึงการพัฒนาการในด้านต่างๆ ให้ทันสมัยอยู่เสมอของ CLP ทั้งนี้เนื่องจาก CLP มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในด้านต่างๆ กับผู้ใช้ EMS อื่นๆ ที่มีการใช้ EMS จากผู้ผลิตเดียวกันโดย CLP จะให้ความสนใจโดยการให้การพบปะสังสรรค์ที่จัดขึ้นในสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้เนื่องจากความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงปัญหาต่าง ๆ นั้นจะได้รับการอภิปรายกันของผู้ใช้รายอื่นๆ

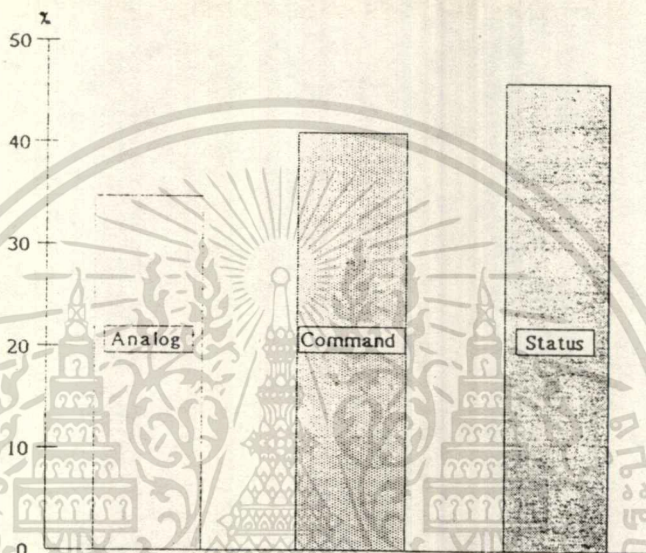
จากประสบการณ์ของ CLP แสดงให้เห็นว่าลักษณะของมาตรฐาน และชุดของ software ซึ่งจัดโดยผู้จัดทำระบบ EMS นั้นจะสั่งการโดยความปรารถนาของผู้ใช้ เพื่อให้มันทำงานได้อย่างมีคุณภาพ ด้วยเหตุนี้เอกสารที่สมบูรณ์จะถูกใช้เพื่อเพิ่มมุมมอง และรายละเอียดของโครงสร้างโปรแกรม และการทำงานร่วมกันกับโปรแกรม CLP ได้ยืนยันว่าการจัดทำเอกสาร และการเตรียมพร้อมของข้อมูลให้ทันสมัยตลอดนั้น เป็นสิ่งที่จำเป็น

ตัวอย่างข้างต้นแสดงถึงหน้าที่ และการตรวจสอบของ APPS ซึ่งจะประกอบไปด้วย ส่วนของ State Estimator , ส่วนของ on-line load flow และส่วนของ Security Assesment Program ซึ่งโดยประมาณแล้วเราจะพบว่าใน 1 เดือน จะต้องการคนงานประมาณ 6 คน เพื่อจัดการงานให้บรรลุผลได้ งานเหล่านี้จะรวมไปถึง

- 1) การบ่งบอก และ การแปลงสัญญาณตรวจวัดที่ไม่ถูกต้อง
- 2) ค่าที่เพิ่มมาเนื่องจากการวัดระยะไกล (ดังตัวอย่างเช่น ตำแหน่งของ tap transformer ตัวที่ติดกับ gen)
- 3) การบ่งชี้ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ผิดพลาดไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจัดการของข้อมูลภายนอกระบบ

ความต้องการหลักๆ ประการหนึ่งของ EMS ก็คือ ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ database , ในระหว่างการวางข้อมูลแบบ on-line display และในระหว่างกระบวนการรับส่งข้อมูลใหม่ๆ มาที่ RTU นั้น ระบบจะต้องยังคงรักษาค่า availability เอาไว้ 100 % นั่นก็คือ อุปกรณ์ในการ standby นั้น จะต้องมีการต่อเชื่อมอยู่กับ line เสมอซึ่งถ้าหากการทำงานของ EMS เป็นไปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ก็จะทำให้ EMS นั้นสามารถที่จะทำงานประสานกันกับระบบ power system ได้ดีขึ้น และในภาพนี้จะแสดงถึงการเจริญเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เติบโตในการใช้งานของ control function ตั้งแต่ปี 1984

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเจริญเติบโตของ Control function

แผนในการปรับปรุง

เราพบว่า ระบบ EMS ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในปี 1984 นั้น มีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในปี 1989 โดยในอีก 10 ปีข้างหน้า CLP และบริษัทสาขา จะมีโรงจักรที่ทำการผลิตไฟฟ้าดังนี้

1) Nuclear Power Station : 1,800 MW ในส่วนนี้เป็นของ CLP 25 %
เป็นของผู้อื่น 75 %

2) Pumped Storage Power Station : 1,200 MW เป็นของ CLP 50 %
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

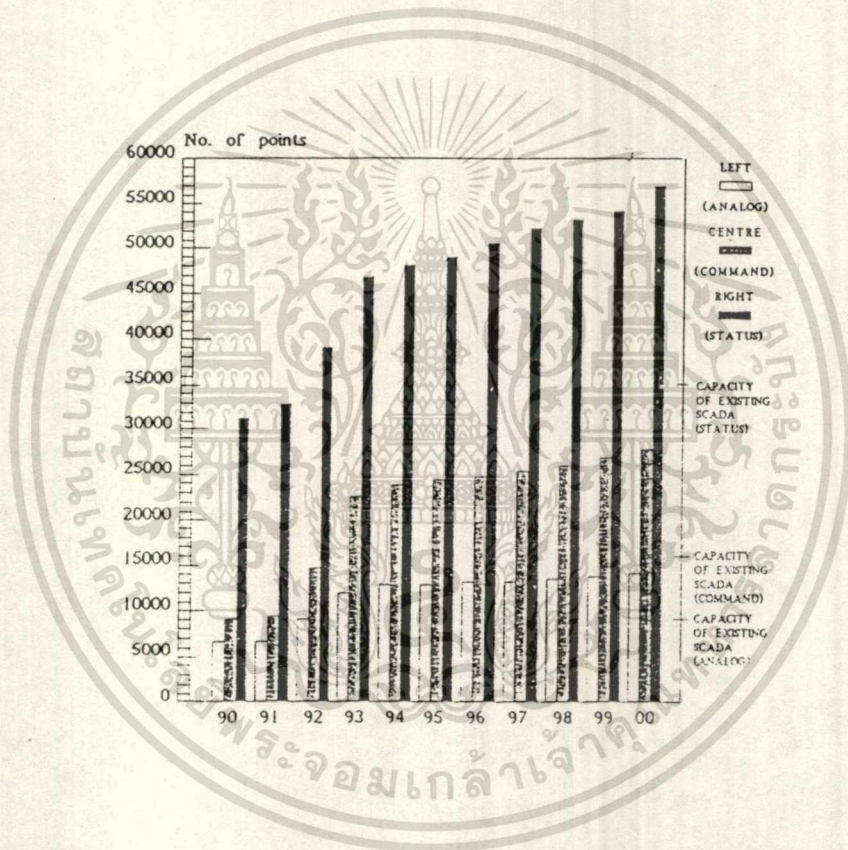
3) Gas Turbine : 300 MW

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) New Coal Power Station ซึ่งมีกำลังผลิตสูงสุด 5,000 MW

5) Transmission and distribution equipment จะได้รับการประมาณถึงความต้องการว่าจะมีประมาณ 3,200 MW

ในขณะเดียวกัน CLP ก็มีจุดมุ่งหมายในการที่จะเพิ่มเติมในส่วนของการ monitoring และส่วนของการควบคุมเกี่ยวกับวงจรของการจ่ายไฟที่ระดับแรงดัน 11 KV ของ primary substation



รูปที่ 4.2 ความเติบโตของ Control Function (1990-2000)

จากภาพ ซึ่งจะแสดงถึงการทำนายเกี่ยวกับการเจริญเติบโตในส่วนของ control function ตั้งแต่ปี 1990 จนถึง ปี 2000 นั้น จะเห็นได้ว่าในปี 1992 ความต้องการที่จะใช้ EMS จะมีมากกว่า Capacity ของ EMS

ในปี 1988 CLP ได้เริ่มต้นที่จะทำการสำรวจเกี่ยวกับการทำงานในด้านต่างๆ เพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าที่จะทำให้เกิดความเข้าใจได้ว่า control function จะมีเพียงพอใช้ และถูกปรับปรุงจนเมื่อกฎใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ให้ได้ต่อไปในอีก 10 ปีข้างหน้า

โดยในขั้นแรกได้มีการเริ่มต้นเกี่ยวกับการพัฒนาความรู้ขั้นพื้นฐานของระบบ โดยการจัดให้มีการไปเยี่ยมชมเยียน เพื่อทำการศึกษเกี่ยวกับ ระบบของ EMS ในแบบใหม่ ทั้งในสหรัฐและยุโรป พร้อม ๆ กันกับการไปศึกษาเยี่ยมชมเยียนในส่วนของผู้ผลิตอีกด้วย กล่าวคือ CLP มีการไปเยี่ยมชม Control center มาแล้วมากกว่า 20 แห่ง รวมไปถึงการไปเยี่ยมชมผู้ผลิตอีกประมาณ 5 แห่ง

หลังจากการไปเยี่ยมชมมาแล้ว ทาง CLP ก็ได้ข้อสรุปดังนี้

- ระบบ EMS ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเท่าที่เห็นอยู่นั้นนับเป็นระบบที่ดีที่สุดเท่าที่จะหาได้
- ความเคลื่อนไหวเมื่อเร็ว ๆ นี้เกี่ยวกับส่วนของการแสดงผลที่เป็นแบบ full graphics display ของระบบ EMS นั้น พบว่ายังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

ในทำนองเดียวกัน การทำงานของ staff ที่มีการทำงานในศูนย์ควบคุมนั้น จะมีการทำงานในการบังคับบัญชาสั่งการระบบ โดยใช้ส่วนของ MMI (Man-Machine Interface) มาช่วย

ภายหลังจากการอภิปรายภายใน และอภิปรายเบื้องต้นกันมาอย่างยืดเยื้อ CLP ก็ได้มีการตกลงใจที่จะทำการพัฒนาปรับปรุง (upgrade) ในส่วนของ EMS computer และ Development computer hardware ขึ้นโดยได้มีการเจรจาตกลงกัน และได้ข้อสรุปดังนี้คือ ให้มีการติดตั้งให้เสร็จก่อนปี 1991

ผลประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงระบบ EMS

1) จะสามารถตอบสนองความต้องการในส่วนของการควบคุมโครงการ (project control) ได้ตลอดศตวรรษหน้า

2) ด้วยลักษณะที่เรียบง่ายจะทำให้ระบบมีค่า availability ที่สูงขึ้นได้ โดยการกำจัดปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมการ รวมไปถึงปัญหาเกี่ยวกับการ share memory ระหว่างกัน และยังสามารถที่จะลดช่วงเวลาของ "automatic failover time" ลงไปได้จากระดับนาที เหลือเพียงระดับวินาที

3) จะมีการทำให้ EMS มีลักษณะที่ง่ายขึ้นกว่าเดิมโดยการแยกส่วนของ firezones ภายนอกใน computer room ออกจากกัน

4) computer ใหม่ที่เกิดขึ้นหลังจากการพัฒนา ระบบ EMS นั้นจะสามารถทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การเปลี่ยนแปลงข้อมูลในส่วนของ Distribution Information Display System (DIDS) และรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงในส่วนอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันอีกด้วย

5) ระบบ Development Computer System (DCS) ซึ่งในช่วงของการทำงาน โดยปกติ จะถูกนำมาใช้เป็น backup ในการทำงานของ AGC และในช่วงของการ maintaince ก็จะถูกปลดออกจากการเป็น backup ของ AGC แต่พบว่ามันได้กลายเป็นส่วนที่มีความยุ่งยาก อันเนื่องมาจากอายุของการใช้งานของอุปกรณ์ ดังนั้น CLP จึงได้ทำการพิจารณาในส่วน สถานที่ตั้งของระบบ DCS ซึ่งถูกมองว่าเป็นส่วนพื้นฐานที่ถูกใช้เป็น back up ของ control center ให้มีการติดตั้งอยู่ในส่วนที่แยกออกไปต่างหาก

ความหมายของการปรับปรุงระบบ EMS

การปรับปรุง control center นั้นจะหมายถึงการ upgrade ของ facilities ต่างๆ 3 ส่วนที่ประกอบไปด้วย

- EMS configuration
- off-line development computer system (DCS)
- System operation training simulator (SOTS)

ที่ EMS ลักษณะของการ upgrade ของมันนั้นจะเป็นการ upgrade ที่วงจรมพิวเตอร์ 4 ตัว ซึ่งประกอบไปด้วย comp.ที่ระดับ application level 2 ตัว และ comp.ที่ระดับ process level อีก 2 ตัว โดย comp.ทั้ง 4 ตัวนี้จะมีการต่อกันภายใน ในแบบ highspeed interconnections อยู่ในแต่ละระดับของการควบคุม (คือทั้ง process level, application level) นั้นจะประกอบไปด้วย comp.ระดับละ 2 ตัวนั่นคือ primary computer และ backup computer ทั้งนี้เพื่อให้ระบบมีค่า availability ตามที่ต้องการและ comp.ทั้ง 4 ตัวนี้จะมีการใช้ line printer และ magnetic tape ร่วมกันโดยอาศัยการทำงานในแบบ switch ในทำนองเดียวกัน เราพบว่า programmer terminals ทุกๆ terminals และ IBM PCs ซึ่งจะถูกใช้ร่วมกัน โดย comp.ทั้ง 4 ตัวนั้นจะมีการทำงานในแบบ switch อีกด้วย

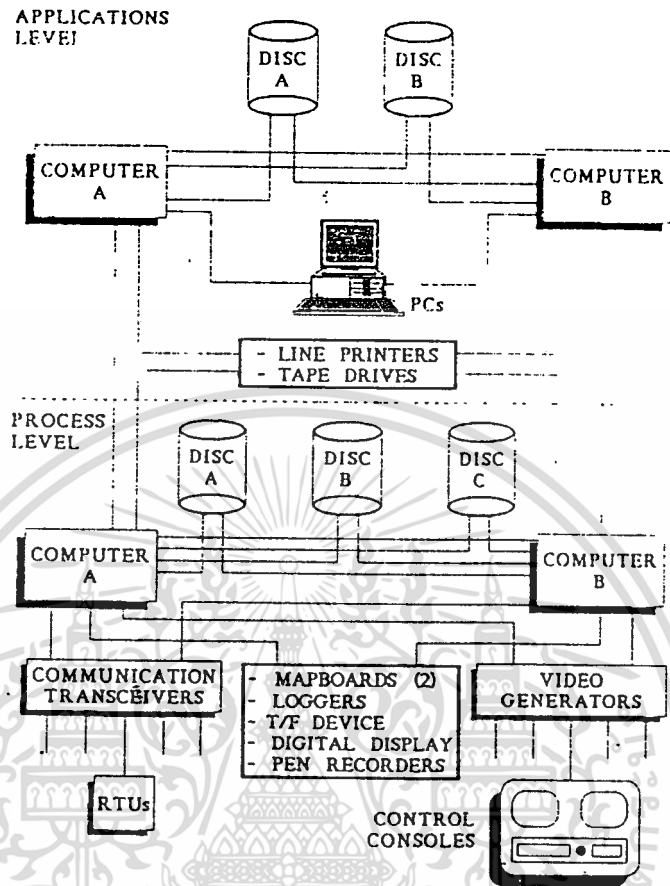
ที่ระดับ application level เราจะพบว่า advance power applications software จะมีการทำงานอยู่ใน level นี้โดยมันจะทำการส่งผลลัพธ์ที่ประมวลออกมาได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไปยัง process level เพื่อทำการแสดงผล ในระดับ application level นี้จะประกอบด้วย DISC 2 ตัว ซึ่งจะมีการทำงานร่วมกันกับ comp ทั้ง 2 ตัว

การทำงานในระดับของ process level จะเป็นการทำงานเพื่อตอบสนองการทำงานในส่วนของ SCADA, Automatic Generation Control, economic dispatch ฯลฯ โดยในการทำงานของระดับ Process level นี้จะประกอบไปด้วย DISC 3 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะมีการต่อใช้งานร่วมกันกับ comp. 2 ตัวในระดับนี้

การ upgrade ในส่วนของ EMS configuration นี้จะทำให้ เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ เช่นส่วนของ MMI, RTU, ส่วนของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ใน control center เช่น mapboard, R/F device ,loggers, digital display รวมทั้งยังมีการนำเอาส่วนของ IBM Personal Computers, Programmer terminals รวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่อร่วมกันอยู่กับ IBM personal Computer เพื่อนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการทำการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ส่งผ่านมาระหว่าง EMS กับ PCs

EMS ที่ถูก upgrade แล้วจะบรรจุ software ซึ่งได้มาโดยลักษณะของการซื้อจาก supplier ในทำนองเดียวกัน program ที่ CLP ได้ทำการเตรียมไว้เพื่อใช้งานใน EMS แบบเดิมก็ต้องถูกเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สำหรับการใช้งานใน "upgrade EMS" และ Advanced Power System Application Software ก็จะถูกเปลี่ยนแปลงจากการทำงานที่ EMS แบบเดิมมาทำงานที่ ระดับ application level ของ upgraded EMS โดย software นี้จะมีลักษณะที่สำคัญเหมือนกับที่ถูกใช้ใน EMS แบบเดิม กล่าวคือ software จะต้องสามารถขยายการทำงานเพื่อรองรับการขยายตัวเพิ่มขึ้นของ power system network ได้ อย่างไรก็ตามก็จะมีการเพิ่มขึ้นในส่วนของ Optimal power flow และ contingency selection application ในส่วนของ APPS ซึ่งอยู่ใน Upgrade EMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะของ Upgrade Configuration

Development Computer System

พร้อม ๆ กับการ upgrade ของ EMS CLP ก็ได้มีการสร้างระบบ Standalone Development Computer System (DCS) ขึ้น โดยระบบ DCS นี้ จะมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานอยู่ 2 ประการ

1) ใช้เป็นระบบ back-up ในส่วนที่เกี่ยวกับการควบคุมการจ่าย load ของ EMS ในกรณีที่ระบบ EMS เกิดการ failure ขึ้น

2) ใช้เป็น software test and development platform และใช้เป็น hardware diagnostic test platform

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงได้ และต้องแจ้งของเอกสารไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
DCS software จะประกอบไปด้วยกลุ่มของ software ที่มีลักษณะเหมือนกันที่อยู่ใน บริเวณ process level ของระบบ EMS และ DCS software นั้น ยังประกอบไปด้วย

ส่วนของ MMI และส่วนที่ interface อยู่กับ RTU ในบริเวณ power station และที่ บริเวณ tieline interconnection substations โดยในระบบ DCS นี้จะมีการต่อเชื่อมกับระบบ EMS ในแบบ highspeed data link กล่าวคือ สามารถที่จะทำการส่งผ่านข้อมูลของ realtime database และ general data files จาก ระบบ EMS ไปยังระบบ DCS ได้ นอกเหนือไปจากการต่อเชื่อมกันโดยใช้ highspeed datalink แล้ว ระบบ DCS ก็จะมีการต่อกับระบบ EMS โดยใช้ส่วนของ Standard Ethernet local area network(LAN) และใน LAN ก็ยังถูกนำมาใช้ในการสนับสนุนการติดต่อกันระหว่าง EMS กับ SOTS computer ด้วย ดังนั้นเราจึงอาจกล่าวได้ว่า ในการติดต่อกันระหว่าง EMS, DCS และ SOTS นั้น จะมีการติดต่อกันโดยใช้ LAN

การปรับปรุงในส่วนของ System Operation Training Simulator

ลักษณะโดยทั่วไปของระบบ SOTS จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากการ upgrade แต่อย่างไรก็ตาม ในส่วนของ software นั้น จะต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้มีความสอดคล้องกับส่วนของ software ที่ถูกใช้ใน "upgrade EMS" ซึ่งก็จะมีผลทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของ hardware เพื่อให้สามารถรองรับการทำงานของ software ที่ได้รับการปรับปรุงมาด้วย แผนงาน และ ความจำเป็นในการ changover

ความจำเป็นประการหนึ่งในหลายๆประการของระบบ EMS ที่ถูก upgrade แล้วนั้นก็คือ จะต้องเป็นระบบที่เป็นแบบ "system changeover" กล่าวคือระบบจะต้องมีข้อกำหนดหลักๆ ดังนี้คือ

- กระบวนการ changover นั้น จะต้องใช้เวลาในการตรวจสอบนานพอๆ กับการปฏิบัติการใน Vendor's Works
- ในระหว่างการทำงานในส่วนของการควบคุมนั้น จะต้องมีการทำงานโดยต่อเนื่อง ไม่เกิดการขัดจังหวะ ยกเว้นในกรณีที่ระบบจะมีการเริ่ม start ใหม่
- staff ที่อยู่ในห้องควบคุม จะต้องสามารถมองเห็นได้
- ข้อมูลในการทำงานของระบบ EMS (เช่น ค่า updated, ค่า alarm limits ที่เป็นแบบ analogue และข้อมูลอื่นๆ ของ AGC เป็นต้น) ที่ถูกป้อนเข้าไปโดยเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า staff ที่ควบคุมอยู่นั้น จะต้องถูกส่งข้ามเข้าไปยังส่วนของ upgrade EMS ได้
- อุปกรณ์ต่างๆ ที่ถูกใช้งานในระบบ upgrade EMS จะต้องสามารถที่จะทำงาน

ได้ในทิศทางตรงกันข้ามกัน

System Operation Training Suite

ลักษณะต่างๆ ที่ทั่วไปของ SOTS นั้นจะต้องได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือได้สูงสุด และเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเรียนรู้สูงสุด simulator แต่ละตัวจะถูกรวมเข้าไว้ด้วยกันอยู่ในชุดที่เรียกว่า "Simulator Suite" ซึ่งก็จะถูกแบ่งเอาไปไว้ใน 2 ส่วน คือ ส่วนของ "instructor's room" (ห้องของผู้สอน) และ "trainee room" (ห้องของผู้เรียน)

ลักษณะของห้อง trainee room นั้นจะต้องมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับห้อง system control room กล่าวคือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในห้อง trainee จะต้องเหมือนกับ อุปกรณ์ที่ใช้ในห้อง transmission/generation control room ในส่วนการแสดงผลของข้อมูลในห้อง trainee room นั้นจะแสดงผลด้วย "colour CRTs" และ "Map board" ซึ่งก็จะเหมือนกันกับการแสดงผลในบริเวณ control room

ในการทำงานด้วยตัว simulator ซึ่งเป็นระบบที่ถูกจำลองขึ้นมาเพื่อให้ trainee ได้มีโอกาสฝึกฝน เพื่อให้เกิดความชำนาญในการทำงานนั้น ลักษณะการทำงาน และการตอบสนองจะมีความเหมือนกันกับการทำงานในระบบจริง ๆ

ห้องของผู้ฝึกสอนจะติดอยู่กับห้องของ trainee โดยมีกระจกหน้าต่างที่มองเห็นทางเดียวกันอยู่ ซึ่งจะทำให้ผู้ฝึกสอน สามารถสังเกตเห็นพฤติกรรมของ trainee ได้ตลอดในระหว่างการฝึกสอน

ลักษณะภายนอก และการประยุกต์ใช้งานในส่วนของระบบ SOTS

ระบบ computer ที่เป็นแบบ standalone ซึ่งถูกนำมาทำงานในส่วนของการฝึกสอน ในระบบ SOTS นั้น ควรจะต้องควบคุมผลกระทบต่างๆ ที่จะเกิดกับการทำงานในช่วงเวลาจริงๆ ของ EMS ให้น้อยที่สุด

ลักษณะที่สมบูรณ์ของ SOTS นั้นจะต้องประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ของ hardware ดังต่อไปนี้

- computer ในแบบ standalone computer ซึ่งประกอบไปด้วย memory ขนาด 3 M bytes และ disc drive ขนาด 300 M bytes 2 ตัว
 - video generator 1 เครื่อง ซึ่งใช้งานในการทำให้เกิดภาพ 7 สี บนจอไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดับเพลิงและต้องอย่างองงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- ในระบบ semigraphic CRT's

- console station 3 สถานีคือ Instructor console, Assistant console , Trainee console
- event loggers 4 ตัว และ digital readout displays 11 ตัว
- dynamic mimic board 1 ตัว

โดยพื้นฐานแล้ว SOTS software จะประกอบไปด้วยกลุ่มของ software หลัก จำนวน 4 กลุ่มคือ

- Database related software
- Realtime EMS software
- Simulation Control Software
- Power System Simulation Software

เพื่อเป็นการสนับสนุนการ Generation และการ maintenace ของระบบ SOTS ดังนั้นจึงมีการนำเอาส่วนของ Database และ display editor มาใช้งาน และเนื่องจาก display editor จะมีความเหมือนกันกับ display editor ที่ถูกใช้งานในช่วงเวลาจริงๆ ของระบบ ดังนั้นผลที่ถูกแสดงในช่วงเวลาจริงๆ ของระบบ สามารถที่จะถูกส่งผ่านมาแสดงยังส่วนของ SOTS ได้

วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญของ SOTS ได้แก่ การฝึกอบรมวิศวกรควบคุม (control engineering) เพื่อให้สามารถทำงานได้ทั้งในช่วงเวลาปกติ และช่วงเวลาฉุกเฉิน การทำงานในช่วงเวลา realtime ของระบบ EMS นั้นต้องอาศัยส่วนต่างๆ ดังนี้

- การทำงานและการควบคุมโดยการใช้ AGC, Economic dispatch, I/S , Reserve Monitor, AGC performance Monitor และ Product costing
 - การได้รับข้อมูล และ การตรวจตราดูแลควบคุม (ในส่วนของการพิจารณาข้อมูล และ การส่งสัญญาณเตือน/ การ generation และการปฏิบัติ processing)
 - การเชื่อมประสานกันระหว่างคน กับเครื่องจักร (Man-machine interface)
- รวมไปถึงส่วนของ video trending , logging function และ map board

ส่วนของ simulation control software ถูกจัดให้ขึ้นเพื่อ

- ควบคุมการปฏิบัติงานของเหตุการณ์จำลอง (simulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- สร้างเหตุการณ์จำลองขึ้น (simulation events)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีทีเอทห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

software ที่มีความสำคัญของ SOTS นั่นก็คือ software ของระบบ power

system

การทำงานพื้นฐาน 6 ประการในส่วนของ SOTS มีดังนี้

- 1) การตอบสนองในด้านความถี่ของระบบ (system frequency response model) ซึ่งจะมีการตอบสนองทุกๆ ครึ่งนาที เพื่อนำมาทำการคำนวณ ค่าของความถี่
- 2) load model ซึ่งจะหาได้จาก load ที่แต่ละ bus
- 3) generator model ซึ่งจะ run ทุกๆ นาที เพื่อเป็นการ simulate เกี่ยวกับผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อ gen ในกรณีที่มีความต้องการ (demand) และ control action เปลี่ยนไป
- 4) transmission network model ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะถูก Simulate ขึ้นมา (กล่าวคือ ค่าต่างๆ จะถูกคำนวณโดย load flow program ซึ่งจะทำการคำนวณในทุกๆ 10 นาที
- 5) external AGC และ I/S model ซึ่งจะทำการ simulate เกี่ยวกับ AGC ในบริเวณพื้นที่ภายนอก รวมไปถึงการ simulate เกี่ยวกับ I/S function
- 6) relay model โดยลักษณะการทำงานของ relay ในแบบต่าง ๆ จะมีดังต่อไปนี้ คือ underfrequency relay, voltage relays, overcurrent relay, transfer trip relay และ syn-check relays

ประสบการณ์ในการทำงานในส่วนของระบบ SOTS

เนื่องจากระบบ SOTS ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรก นับตั้งแต่เดือน มิ.ย. 1986 ซึ่งจากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่า ตัวอย่างของการทำงานต่างๆ ประมาณ 608 ตัวอย่าง ได้ถูกแก้ไขจนสำเร็จ โดยใช้เวลารวมทั้งหมด 1,500 ชั่วโมง

นอกจากนี้แล้ว simulator ยังถูกนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เพื่อนำมาศึกษาในการวางแผนการดำเนินงาน และถูกนำมาใช้ในการทดสอบเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบ new EMS ก่อนที่จะมีการใช้งานจริง ทั้งนี้เพื่อเป็นการทำให้ระบบมีความมั่นคงขึ้นในการทำงานแบบ on-line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อเร็วๆ นี้ ก็ได้มีการใช้ระบบ SOTS เพื่อทำการวางแผนการดำเนินงานทางระบบไฟฟ้าประจำปี 1993 ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้คือ CLP จะทำการต่อระบบ 400 KV เข้าร่วมกัน

กับ network 500 KV ของ People's Republic of China และได้มีการวางแผนที่จะทำการสร้างโรงจักรไฟฟ้าร่วมกันกับ Guangdong General Power Company เพื่อทำการส่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกัน โดยจะมีการสร้าง โรงจักร Nuclear Power Station ขนาด 2x300 MW และ Pumped Storage Power Station ขนาด 1,200 MW

ซึ่งจากแผนการที่กล่าวมานี้ ทำให้ทางทีมงานที่อยู่ในห้องควบคุมของระบบ EMS ได้วางเป้าหมายเพื่อเป็นการรองรับต่อสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยวางแผนที่จะเริ่มฝึกฝนบุคลากร เพื่อให้พร้อมที่จะทำงานอย่างช้าในปี 1989

บทสรุป

สาระสำคัญของหัวข้อนี้ จะทำการกล่าวถึง การวางแผนและการทำให้มั่นคงขึ้นของระบบ EMS แบบใหม่ ที่อยู่ใน Chinalight and Power, Hong Kong ความพยายามร่วมกันของ CLP และ Supplier ได้ทำให้ระบบ EMS สามารถที่จะถูกนำมาใช้งานอย่างประสบความสำเร็จได้ หลังจากการได้รับการจัดตั้งขึ้นเพียง 24 เดือนเท่านั้น

ลักษณะในการควบคุมต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพทางภูมิศาสตร์ รวมไปถึงคุณลักษณะของ power load ทั้งหมดนี้จะถูกพิจารณาและออกแบบใน EMS สิ่งที่น่าสนใจเป็นพิเศษ ก็คือ ควรจะมีการบรรจุส่วนของการฝึกอบรมในการทำงาน (operator training) และ ส่วนของการฝึกอบรมในการบำรุงรักษา (maintanace traning) เกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย ซึ่งจากผลของการเน้นในสิ่งเหล่านี้ จึงทำให้ต้องมีการเตรียมการ ในส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ SOTS รวมทั้งจะต้องมีการเตรียมการพัฒนา ระบบ computer ที่เป็นแบบ standalone, workshop และอุปกรณ์ในการอำนวยความสะดวกต่างๆ

การควบคุมในการ distribution (distribution control) โดยผ่านการติดตั้งของระบบ distribution information display system (DIDS) นั้น จะช่วยทำให้ระบบ EMS มีการทำงานที่ดีขึ้น

แม้ว่าจากแผนของ EMS จะมีการเตรียมการ เพื่อรองรับการเจริญเติบโตของ load ที่เพิ่มขึ้นในปี 1989 เป็นจำนวนถึง 2 เท่าแล้วก็ตาม แต่เราก็ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของ load นั้นจะมีค่ามากกว่าในแผนที่วางไว้ เมื่อเร็วๆ นี้ CLP ได้มีการวางแผนเพื่อรองรับ การเติบโตขึ้นของระบบ ในอีก 10 ปีข้างหน้า โดย CLP ได้ทำการตัดสินใจที่จะ

ทำการเพิ่มเติมในส่วนของ monitor และในส่วนของการควบคุมเกี่ยวกับวงจรของการจ่ายไฟ ที่ระดับแรงดัน 11 KV ของ Primary substation ทั้งนี้เพื่อเป็นการรองรับความต้องการที่จะใช้ EMS ซึ่งจะมีมากกว่า capacity ของ EMS ในปี 1992

ในปี 1989 CLP ได้ทำการตัดสินใจที่จะทำการ upgrade ในระบบ EMS ทั้งนี้เพื่อที่จะให้เป็นไปตามแผนการในการรองรับการเจริญเติบโตที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเพื่อที่จะทำให้เกิดความแน่ใจได้ว่า control function จะมีเพียงพอใช้ไปจนถึงปี 2000 ในส่วนของการ upgrade นี้ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในส่วนของ "computer" ที่ EMS และ DCS ในการ upgrade ระบบ EMS นี้ ได้มีการวางแผนที่จะพัฒนาให้เสร็จก่อนปี 1991

ประสบการณ์ต่างๆ ที่ได้รับ รวมไปถึงผลที่ได้รับจริงๆ เมื่อถูกนำมาเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ได้วางเอาไว้ สำหรับการติดตั้ง และ การทำงานของระบบ EMS จะถูกนำเสนอในหัวข้อนี้ ซึ่งก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่าสิ่งที่นำมาเสนอนี้ จะสามารถช่วยเหลือ และให้ความกระจ่างเพื่อนำมาเป็นประโยชน์ สำหรับ โรงไฟฟ้าแห่งอื่น ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 Expert system ในระบบไฟฟ้ากำลัง

เมื่อไม่นานมานี้ สาขาต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีของ expert system มากขึ้นด้วยเหตุผลที่ว่า

1) สามารถช่วยกระบวนการคิดของมนุษย์ได้ โดย expert System จะช่วยในการแก้ไขในของเขตของปัญหาต่างๆ ที่สำคัญได้ และมันยังสามารถที่จะช่วยทำงานที่ซ้ำซากน่าเบื่อแทนมนุษย์ และ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีบรรยากาศในการทำงานที่ดีขึ้น

2) มีความยืดหยุ่น กล่าวคือเราสามารถที่จะทำการเพิ่มเติมกฎและเงื่อนไขในต่าง ๆ knowledge base ได้อย่างง่ายดาย

3) การเข้าใจ กฎเกณฑ์ต่าง ๆ ใน expert System นั้น จะใช้ภาษาปกติ ดังนั้นจึงสามารถเข้าใจได้ง่าย ในการทำงานของ expert system นั้นจะมีการบรรยายและสรุปเหตุผลต่างๆ เป็นขั้นตอน

4) ความกว้างขวาง ปัญหาเกี่ยวกับการทำงานในส่วนของ knowledge base นั้นนับเป็นปัญหาหลัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ มากมาย แต่การทำงานในส่วน inference engine จะไม่ขึ้นกับสิ่งใด เพราะฉะนั้นในการทำงานของระบบ expert system ต่าง ๆ จะถูกพัฒนาขึ้นได้โดย ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกส่งจากส่วนของ knowledge base ไปยังส่วนของ Inference engine

5) ความเร็ว expert system สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องเสมอและเราจะพบว่า expert system จะมีปฏิกิริยาต่อเหตุการณ์ที่ไม่ปกติได้ดีกว่ามนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง

เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาการค้นคว้าในสาขา artificial intelligent (AI) ได้รับความสำเร็จอย่างมาก ซึ่งในบรรดาการพัฒนาและค้นคว้าเหล่านี้ นั้นจะมีระบบ computer software ที่มีประสิทธิภาพที่เรียก "expert" หรือ "knowledge-based" system

ในการพัฒนาของระบบ expert system นั้นจะมีการพัฒนาในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ภาษาโปรแกรมเช่น PROLOG (โปรแกรม logic-based) และ LISP (ภาษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า procedure-oriented)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- expert systems shell ซึ่งจะให้ระบบ general purpose อื่น ๆ

- system - building aids และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น debugging aids , อุปกรณ์ช่วยการ input/output , knowledge base editor เป็นต้น

ในปัจจุบันพบว่าวงการอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการใช้ expert system เป็นจำนวนมากกว่า 10,000 อย่างในปี 1986

ข้อกำหนดต่างๆ ทางเทคโนโลยี

จุดประสงค์ของการจัดการในระบบไฟฟ้ากำลังคือการทำให้เกิดความก้าวหน้าในด้านความปลอดภัย และความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นแนวโน้มในการควบคุมและจัดการเทคโนโลยีของระบบ power system ในการร่วมกันทำงานที่ระดับสูงๆ นั้นจะมีมากขึ้น

ปัญหาที่พบ

ส่วนต่างๆ ของ power system จะมีลักษณะที่เป็นลำดับขั้นและซับซ้อน เพราะว่า โครงสร้าง, สถานะ และ เทคนิคต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำให้เกิดปัญหามีเพิ่มมากขึ้น เช่น

1) การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวน real-time message นั้นจะทำให้ส่วนของการทำงาน มีการตอบสนองได้ยากขึ้น ซึ่งความยากในส่วนนี้จะถูกเรียกว่า "human cognitive barrier"

2) software ที่เรานำมาใช้ในการหาคำตอบ ไม่สามารถให้คำตอบที่น่าพอใจในสถานการณ์บางอย่างได้ เช่น การนำเอา expert system มาใช้ระหว่างที่เกิดเหตุฉุกเฉิน และ ในการที่มีการนำเอาส่วนของ software มาใช้งานเกินขอบเขตความสามารถของมัน

3) ปัญหาในการออกแบบ, วางแผน และ ควบคุม ที่เกิดขึ้นมานั้นมีความซับซ้อนและกินเวลาเพราะว่ามีความซับซ้อนในส่วนของจุดประสงค์, ข้อกำหนด, การติดต่อระหว่างระบบ ฯลฯ มากจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ Expert System ที่ใช้งานในวงการอุตสาหกรรม

- Diagnosis : วินิจฉัยสาเหตุของการทำงานอย่างผิดปกติ
- Prescription : ให้คำแนะนำต่างๆ ในระบบที่ทำงานผิดปกติ
- Situation analysis : แสดงข้อมูลต่างๆ จากสถานะของระบบ
- Prediction : จะบอกผลของสถานการณ์ต่างๆ ที่น่าจะเกิดขึ้น
- Selection : เลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดให้แก่ระบบ
- Design Planning & scheduling : กำหนดแผน ระยะเวลาให้ระบบทำงานได้ตามที่ต้องการ
- Control : เป็นการรวมสิ่งต่างๆ ที่กล่าวไว้ข้างบน เช่น รวมการวิเคราะห์ และการให้คำแนะนำต่างๆ
- Instruction : เป็นการฝึกฝน ให้ผู้ทำการศึกษาทำความเข้าใจดีขึ้น

ความเหมาะสมของ Expert System

ในส่วนที่เกี่ยวกับความเหมาะสมของระบบ expert นี้ เราจะสามารถระบุได้ในข้างล่างนี้ ซึ่งจากประสบการณ์ที่ผ่านมา ในการใช้งานของระบบ expert system นั้น ถ้าเราพบว่ามีลักษณะดังกล่าวแล้ว จะต้องใช้เทคโนโลยีของ expert system เข้ามาเกี่ยวข้อง

- ปัญหาแบบ Diagnostic
- ไม่มีทฤษฎียืนยัน
- ขาดแคลนบุคลากรที่มีประสบการณ์
- ข้อมูลมีจำนวนมาก

ปัญหาของระบบไฟฟ้ากำลังต่างๆ จะมีลักษณะดังข้างล่างนี้

1) สถานะการเปลี่ยนแปลงที่เป็นแบบ dynamic จะมีจำนวนขององค์ประกอบจำนวนมาก ดังนั้นปัญหาในส่วน "diagnostic" นี้จึงยากที่จะนำมาประมวลผลระหว่างการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2) ปัญหาต่างๆ ไม่สามารถแสดงได้ในรูปของสมการ เนื่องจากการขาดทฤษฎีที่จะนำมายืนยัน

3) ผู้ปฏิบัติงานควรจะต้องผ่านการทำงานมาสักช่วงเวลาหนึ่ง จึงจะมีการทำงานที่คุณภาพได้ ทั้งนี้เนื่องจากความซับซ้อน และความรุนแรงของการดำเนินงานทางไฟฟ้ากำลัง เพราะฉะนั้น การทำงานในส่วนของ expert system นี้จะต้องการผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์

4) ระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วยระบบย่อยๆ หลายระบบ การติดต่อผ่านอุปกรณ์ระหว่างระบบย่อย ๆ จะมีความยุ่งยากเนื่องจากเหตุผลทางด้านความกว้างของพื้นที่ และระยะทางที่ไกล

การประยุกต์ใช้งานในทางไฟฟ้ากำลัง

ในการใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เราพบว่าเป็นสิ่งที่มีความยุ่งยากทั้งนี้เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถที่จะทำการติดต่อได้กับข้อมูลจำนวนมาก ๆ ที่มีการติดต่ออยู่กับระบบจัดการพลังงานสมัยใหม่ได้ (EMS) จากที่กล่าวมา เราจึงพบว่า มันเป็นอุปสรรคในทางบุคคล "human cognitive barrier" และเราพบว่าจะมีการสูญเสียการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพไป ถ้าหากผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์เกิดการเปลี่ยนงาน หรือ ปลดเกษียณขึ้นมาดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องรักษาคุณค่าเหล่านี้ไว้เนื่องจาก expert system สามารถตัดสินใจ และลดความผิดพลาดลงโดยการทำงานของมนุษย์ลงไปได้จึงมีการนำเอา ระบบ expert system มาประยุกต์ในการใช้งานทางไฟฟ้ากำลังเพื่อช่วยการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของ EMS ในหัวข้อดังนี้

1. Fault diagnosis of network
2. Alarm processing
3. Load flow planning
4. Reactive power and voltage control
5. Switching operation
6. System restoration
7. Security assessment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นและต้องยืมคืนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Unit commitment

10. Operation training
11. Friendly interface
12. Network maintenance scheduling
13. Substation automation
14. Computer relaying
15. HVDC transmission systems
16. Utility electrical plant systems

และมีการเพิ่ม expert system เพื่อใช้ช่วยวิเคราะห์ turbine-generator ที่
 ต่อกับระบบ, และอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย

รูปแบบการประยุกต์ใช้

- 1) ภาษา ภาษาทาง AI 3 ภาษาที่ใช้เป็นพื้นฐาน ได้แก่
 - LISP : a procedure - oriented language
 - PROLOG : a logic - based language
 - OPS : a rule - based language OPS 5 และ OPS 83

ทั้ง 3 ภาษาจะเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้กับ expert system โดยที่ภาษาอื่นๆ
 เช่น APL, PASCAL และ FORTRAN จะไม่ค่อยมีการนำมาใช้

- 2) การแสดง knowledge กฏต่างๆ เช่น IF-THEN จะใช้เป็นหลักในโปรแกรม
- 3) Knowledge Acquisition

โดยทั่วไปจะมีลักษณะ

- ขึ้นอยู่กับอักขระของ relevant domain
- พิจารณาร่วมกับ expert ใน domain

- 4) อุปกรณ์เสริม มี 3 วิธีที่จะให้ software ทำงานใน EMS computer

โดยให้

- numeric programming language

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- AI numeric programming language

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AI numeric programming language ที่ร่วมกับ hardware ที่กำหนด

ศักยภาพในการใช้งานอื่นๆ ของ expert system

1. อุปกรณ์ตรวจความผิดปกติ

การวินิจฉัยสิ่งผิดปกติจะมีความจำเป็นอย่างยิ่งในวงการอุตสาหกรรม ความปลอดภัย และ การทำงานขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาประกอบกัน การตรวจสอบและการซ่อมแซม อุปกรณ์ต่างๆ ในส่วนที่เกิดการเสียหายจะต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถตรงกับทางสาขานั้น ๆ

2. การทำงานอย่างอัตโนมัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบกันในส่วนของ substation โดยการ นำเทคโนโลยีทาง expert system ที่ใช้ในการควบคุมและป้องกันระบบ จะช่วยให้การใช้ อุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาประกอบกันนั้นเกิดการดำเนินงานอย่างอัตโนมัติ

3. การส่งจ่ายกำลังไฟอย่างประหยัด

ความปลอดภัยและการประหยัด เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดในระบบส่งจ่าย EMS แต่ปัจจุบันการประยุกต์โดยการนำการประหยัดมาใช้นั้นจะอยู่ในวงจำกัด โดยในมีโปรแกรมต่าง ๆ นั้นได้มีการรวมเอาส่วนของ knowledge และ expertise ของการส่งจ่ายเข้าไปเพื่อช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างการลดค่าใช้จ่ายและความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น

4. รีเลย์ป้องกันแบบ intelligent digital

การปรับปรุง relay ป้องกันแบบ digital เพื่อตั้งค่า, เปลี่ยนคุณลักษณะ และ เลือกกระบวนการในการทำงานสำหรับการเลือกทำในแต่ละเงื่อนไขของการป้องกันนั้น นับเป็นความต้องการอย่างหนึ่งของการป้องกันโดย relay จึงควรมีการรวม knowledge-based system เข้ากับ digital protective relay ด้วย

5. กระบวนการควบคุมเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า

เป็นสิ่งที่ซับซ้อนเพราะว่าต้องติดต่อกับ loop หลาย loop, ตัวแปรหลายค่า และ dynamic factor หลายอย่างระหว่างกระบวนการ expert system สามารถที่จะถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยผู้ปฏิบัติงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 A Unit Commitment Expert System

ได้มีการนำเอาระบบ expert system มาใช้ในการจัดการทำงานของการผลิตกำลังไฟฟ้า ในแต่ละหน่วยของเครื่องกำเนิดซึ่งจะช่วยในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้โดยการนำเอาความเข้าใจ และ ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงโปรแกรมของ unit commitment expert มาทำงานร่วมกันเพื่อที่จะสร้างกฎที่จะนำมาใช้งานในระบบ expert system จากที่กล่าวมานี้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องให้ข่าวสาร ซึ่งเกิดจากผลของการตอบสนองใด ๆ แก่ expert system โดยระบบ expert system ก็จะนำเอาข่าวสารที่ได้รับ มาทำการประมวลผลให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ และ อาจมีการโต้ตอบกับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อที่จะได้ทราบถึงข่าวสารที่มีการเพิ่มเติมขึ้น ทั้งนี้เพื่อที่จะให้มีการบรรลุผลของการใช้งานได้

ผลที่ได้จากการประมวลโดย expert system นั้น จะถูกนำมาปรับปรุงโดยการระบุให้ผู้ปฏิบัติงานเปลี่ยนแปลงข้อมูล input ซึ่งในส่วนนี้ก็จะขึ้นอยู่กับการวินิจฉัยของผู้ปฏิบัติงาน

ในศตวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนากระบวนการคิดหาโปรแกรม unit commitment ใหม่ ๆ ขึ้นมาหลายวิธีดังตัวอย่างเช่น วิธีการในแบบ dynamic programming หรือ linear programming ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะช่วยในการเลือกวิธีการในการเดินหน่วยการผลิตให้เกิดความประหยัด โดยอาจจะใช้ข้อกำหนดต่างๆ ทาง power system มาประกอบ การประกอบการพิจารณาเช่น กำหนดการซ่อมบำรุง unit, เวลา minimum up และ down , ความต้องการ spinning reserve, ข้อกำหนดของ ramp rate เป็นต้น

ในแต่ละการประมวลผลของโปรแกรม unit commitment นั้นในโปรแกรมที่มีความซับซ้อน จะใช้ข้อมูลในการเริ่มต้นมาก ซึ่งข้อมูลในการเริ่มต้นบางข้อมูลก็จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ส่วนใหญ่จะให้ผลลัพธ์ที่ออกมาต่างกันมาก ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้โปรแกรมที่มีความสามารถสูง มาทำการประมวลผลในสิ่งที่ผู้ปฏิบัติงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เข้าใจเป็นอย่างดี จากประสบการณ์ที่ผ่านมา ในการใช้ dynamic programming ไม่มีการแก้ไข ทุกส่วน อีกทั้งห้ามมิให้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานในการตั้งค่าควบคุมต่าง ๆ ของ input data จะมี

ความจำเป็นอย่างยิ่ง

ได้มีการสังเกตพบว่าเป็นช่วงกว้างของ search range ที่ยังมีจำนวนมากขั้นนั้น ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดการผลิตที่ดีเสมอไปนัก ซึ่งจะค่อนข้างจะขัดแย้งกับความคิดของเรา ผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์จะใช้ผลของโปรแกรมที่ได้มาปรับปรุงข้อมูลที่จะป้อนต่อไป เพื่อให้จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำลงไปได้โดยไม่น่าเชื่อ

จุดประสงค์อย่างหนึ่งของ expert system ก็คือการติดต่อสื่อสารกับผู้ปฏิบัติงาน และ แนะนำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม จุดประสงค์อีกอย่างก็คือ แนะนำให้มีการป้อนค่าข้อมูล input โดยใช้ข้อกำหนดต่างๆ ของผู้ปฏิบัติงานเองประกอบลงไปด้วย ซึ่งเป็นการยากที่จะนำลงไปบรรจุอยู่ในโปรแกรม unit commitment ขึ้นพื้นฐาน ข้อกำหนดเหล่านี้จะเปลี่ยนไป ถ้าหากว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ network แต่เราก็สามารถที่จะแก้ไขได้โดยง่ายในส่วนของ expert system

ระบบ expert system จะสามารถติดต่อกับผู้ใช้ได้เพื่อเป็นการตอบปัญหาต่างๆ ของผู้ปฏิบัติงาน ในส่วนที่เกี่ยวกับรูปแบบการ commitment ซึ่งบรรจุใน unit commitment program โดยทั่วไปแล้วผู้ปฏิบัติงานควรมีการปรึกษากับผู้โปรแกรม unit commitment เพื่อที่จะใช้งาน expert system ได้อย่างถูกต้อง

กล่าวสรุปในส่วนของ Unit Commitment Program

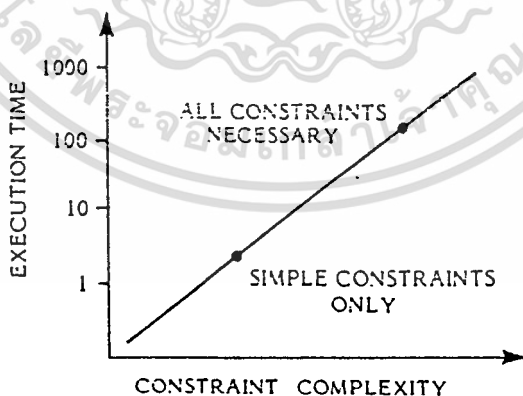
โปรแกรม unit commitment เป็นฟังก์ชันการทำงานอย่างหนึ่งของ Salt River Project (SRP) EMS system

ในฟังก์ชันนี้จะประกอบด้วยวิธีการในการจัดการให้ thermal unit ทำการผลิตกำลังไฟโดยให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จะมีการจำกัดจำนวนวิธีการในการจัดหมู่ของเครื่องกำเนิดโดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ เป็นตัวกำหนด พารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้จะประกอบด้วยลำดับก่อนหลังในการเดินเครื่อง, search window size และ search window shift ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้จะถูกกำหนดให้มีค่าที่ดีที่สุดต่อไป และยังมีส่วนของข้อกำหนด ต่างๆ ของระบบและ unit อื่นๆ ที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วย ได้แก่ ค่าเวลาของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า unit minimum up และ down, ตารางการซ่อมบำรุง unit, unit ramp rate, unit operation capacity, spinning reserve เป็นต้น

ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมั่นใจว่าข้อมูลต่างๆ นี้ จะถูกกำหนดมาอย่างเหมาะสมและถูกปรับแต่งให้มีผลดีที่สุด ต่อไปจะอธิบายถึงว่า expert system จะแนะนำให้ผู้ปฏิบัติงานตั้งค่าเหล่านี้อย่างไร ดังต่อไปนี้

1. การระบุปัญหาของ unit commitment

ระหว่างการใช้งานในช่วงเริ่มต้นของ unit commitment ซึ่งถูกโปรแกรมจากบุคลากรของ SRP นั้นจะมีคำถามต่างๆ ถูกป้อนเข้ามาเพื่อคำนวณอย่างมากมายและจะประมวลผลโดยโปรแกรม unit commitment expert เพื่อหาคำตอบเหล่านั้น บุคลากรที่มีประสบการณ์ของ SRP จะสามารถปรับปรุงผลที่ได้ในระบบของ SRP รวมทั้งข้อบังคับต่างๆ ที่ซับซ้อนในการปฏิบัติงานนั้น จะต้องรวมอยู่ในวิธีการหาคำตอบของ dynamic programming ด้วย ซึ่งข้อบังคับต่างๆ ที่ถูกเพิ่มขึ้นในกระบวนการ จะเพิ่มเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วย (ดูรูปที่ 1) สังเกตได้ว่าข้อกำหนดที่ซับซ้อนดังกล่าวจะไม่ค่อยมีการนำมาใช้บ่อยนัก ดังนั้นจึงไม่ได้มีการบรรจุอยู่ในโปรแกรมของ unit commitment แต่จะใช้วิธีการปรับค่าข้อมูล input แทน โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความรู้ในเรื่องโปรแกรมของ unit commitment พอ ๆ กับการทำงานของระบบ SRP .



รูปที่ 6.1 เวลาในการประมวลผล และ ความซับซ้อนของข้อบังคับต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

expert system ได้ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในการทำงานร่วมกันของ unit commitment expertize และ SPR operation expertize โดย expert system จะถูกนำมาใช้ในการทำงานดังนี้

- พัฒนาผลจากการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีข่าวสารข้อมูลให้ในระหว่างการถามตอบปัญหา โดยข่าวสารข้อมูลเหล่านี้จะประกอบด้วย ขนาดของ window, ลำดับก่อนหลัง, ข้อกำหนดของเวลา minimum up และ down, เงื่อนไขเริ่มต้นของ unit, ตารางการซ่อมแซม unit และ window shift

- รวมข้อกำหนดต่าง ๆ ในการทำงานซึ่งถ้าหากข้อกำหนดต่างๆ เหล่านี้ถูกรบรรจุอยู่ใน base unit commitment program แล้วจะมีความยุ่งยาก และมีเสียดำค่าใช้จ่ายมากขึ้น

- ให้ค่าปรึกษาในคำถามของผู้ปฏิบัติงานตามขั้นตอนของโปรแกรม ซึ่งจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความมั่นใจในการทำงาน

- ลดเวลาของคอมพิวเตอร์ จากการศึกษที่ผ่านมา หากขนาดของ search range เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบลดลง อย่างไรก็ตามเวลาในการเดินเครื่องของ computer จะมีลักษณะที่เป็นแบบ exponential และเนื่องจากเราไม่สามารถบอกได้ว่า คอมพิวเตอร์ความเร็วสูงจะใช้เวลาและ storage ของ CPU ขนาดเท่าใด ดังนั้นเราจึงควรจะใช้โปรแกรม unit commitment ในขนาดของ window ที่เล็กลง รวมทั้งควรจะมีการใช้ expert system ในการวิเคราะห์ผล ปรับค่าพารามิเตอร์ input และประมวลโปรแกรม unit commitment อีกครั้งเป็นครั้งที่ 2 ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้เราสามารถให้ computer ที่มีขนาดเล็กลงได้

2. ความรู้ของผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์ของ SRP ได้มีการทำงานโดยการติดต่อและใช้ผลของโปรแกรม unit commitment มาช่วยในการทำงาน และเขาจะมีการจดจำกระบวนการตรวจสอบผลของ unit commitment ที่ได้ใหม่ด้วยตัวเขาเองเพื่อใช้วิเคราะห์ในคราวต่อไป

กฎเกณฑ์หลายอย่างได้เกิดขึ้นในกระบวนการ ดังเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่ Combustion Turbine (CT) หลายๆ unit ต่อกันเป็นเวลาหลายวัน ก่อนที่จะมี intermediat unit commitment ขึ้น

ในวันนั้น (กฎเกณฑ์ที่จะถูกนำมาใช้กับโรงจักรประเภทเผาไหม้ด้วยแก๊ส, combined cycle)

- หลังจากที่ unit เกิดการ shutdown แล้ว เราไม่ควรที่จะทำการ start unit นั้นในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากการ shutdown
- หาก CT ตัวใดออกจากระบบ CT ตัวอื่นหรือตัวเดิม จะไม่สามารถต่อเข้าระบบภายใน 4 ชั่วโมง

3. ความรู้ของวิศวกร และ programmer

ผู้เขียนโปรแกรม unit commitment จะต้องสามารถตอบคำถามที่ถามมาจากผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์ได้โดยใช้ unit commitment program ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องรวมความรู้ของทั้ง programmer และ ผู้ปฏิบัติงานลงไปในส่วนของ expert system knowledge base

แต่กระบวนการความคิดที่ programmer และผู้ปฏิบัติงานนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ออกมา และปรับปรุงรูปแบบของการ commitment นั้นไม่อาจที่จะถูกนำมาประกอบลงไปใน knowledge base expert system ได้โดยตรง ดังนั้นความรู้จากบุคลากรทั้ง 2 จึงนำที่จะนำมาเป็นส่วนในการวิเคราะห์ท้ายสุด โดยถูกนำมาขยาย และประกอบเป็นกฎง่ายๆ กระบวนการนี้จะมีการใช้ search tree มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลสุดท้ายของการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง จะถูกผู้ปฏิบัติงานทำการรับรองอีกครั้งหนึ่ง ดังตัวอย่างเช่น การรับรองในการแก้ปัญหาเพื่อที่จะเพิ่มเวลา minimum down ของ C.T.

4. การเลือกใช้อุปกรณ์ของ expert system

โดยในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างของโครงการที่ชื่อ ES ซึ่งอยู่ในการควบคุมของ MYCIN expert system ที่มีชื่อเสียง โดยการควบคุมของ MYCIN expert system จะมีชื่อว่า EMYCIN (empty MYCIN) คือ MYCIN expert system ที่ขาดส่วนของ knowledge base ไป

ES expert system จะถูกนำมาช่วยในการหาค่าความเร็วของพารามิเตอร์ต่างๆ ของผู้ใช้ ซึ่งอาจจะเป็น logic (จริง/เท็จ), เลข, รายชื่อ และสัญลักษณ์ ในตอนเริ่มต้นนั้น เราไม่สามารถหาค่าความจริงได้ว่าเป็นเช่นใด ดังนั้นหน้าที่ของ ES ถูกนำมาใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการการค้า การหาค่าของมัน ค่าความจริงที่ไม่ทราบค่าจะถูกเรียกว่า สมมติฐาน (hypothesis) expert system จะมีการนำเอากฎต่างๆ ที่วิศวกรได้จัดลงไปในส่วนของ knowledge

base มาทำการพิสูจน์ค่าของพารามิเตอร์ ซึ่งกฎเกณฑ์ต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่: กฎต่างๆ, วิธีการอื่นๆ ,ค่าที่จะลดความผิดพลาด เป็นต้น โดยกฎเกณฑ์ต่างๆ จะต้องประกอบด้วยส่วน knowledge ของผู้ปฏิบัติงานและ unit commitment program expert แต่ละกฎเกณฑ์นั้น เราพบว่าจะมีอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ : if-part, then-part และ because-part โดยในส่วนของ if-part จะบอกให้ expert system ว่าเมื่อใดจะมีการให้ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้าไปในส่วนของ then-part กล่าวคือ ประโยคต่าง ๆ ใน if-part จะต้องถูกพิสูจน์ว่าเป็นจริงก่อนที่จะถูกนำเข้าไปในส่วนของ then-part เพื่อทำการประมวลผล ส่วนของ then-part จะประกอบด้วยคำสั่งต่างๆ เพื่อจะสั่งให้ expert system ทำการแปลงค่าต่อไปในส่วน because-part นั้นจะถูกใช้ในการระบุเหตุผล ของการประมวลผล จะเป็นการใช้เพื่อการ debug และหาวิธีการที่จะวิเคราะห์เหตุผล หลังจาก การประมวลของ ES แล้ว

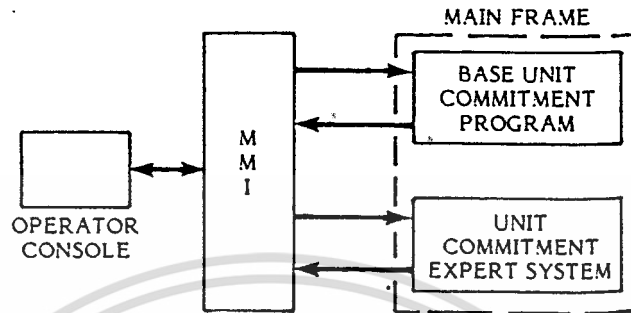
expert system จะประกอบด้วยวิธี search 2 ชนิดคือ : แบบ forward และ backward chaining โดย forward chained จะถูกตรวจสอบถ้าหากว่าค่าพารามิเตอร์ซึ่ง ระบุไว้ใน if-part ถูกเปลี่ยนเป็นค่าใหม่ ส่วนวิธีการในแบบ backward chained จะถูกตรวจสอบ ในช่วงที่ expert system มีการพยายามที่จะหาค่าพารามิเตอร์

5. รูปลักษณะที่ออกแบบ

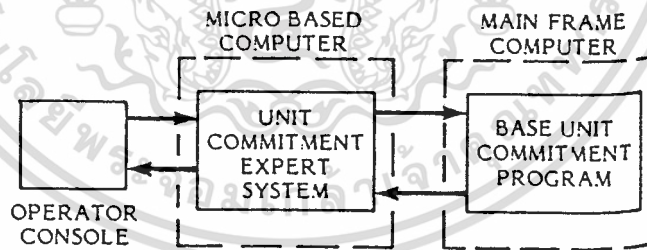
จะกล่าวถึงลักษณะที่เป็นไปได้ 2 แบบ แบบแรกนั้นทั้ง base unit commitment program และ unit commitment expert system จะถูกบรรจุลงใน mainframe computer ส่วนแบบที่ 2 นั้น unit commitment base program จะถูกประมวลใน mainframe computer ขณะที่ expert system นั้นประมวลผลใน micro-based computer

ตัวอย่างที่ยกขึ้นมาจะใช้แบบที่ 1 เมื่อ LISP interpreter มีอยู่ใน mainframe แล้ว ยิ่งกว่านั้น เนื่องจากการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่าง 2 โปรแกรม คือ unit commitment และ expert system จะเป็นไปไม่ได้ ค่าความจริงที่เกิดจากผลต่าง ๆ ที่แสดงไปยัง expert system นั้นจะถูกป้อนเข้าไป โดยผู้ปฏิบัติงานระหว่างการแก้ปัญหา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 Main Frame Based Expert System



รูปที่ 6.3 Micro-based computer Expert System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การสร้าง knowledge base

knowledge base จะถูกสร้างขึ้นจากผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์ และจาก unit commitment program expert กฎของ if-then จะถูกนำมาใช้ทั้งนี้เนื่องด้วยความเข้าใจได้ง่ายและระบบ ES มีพื้นฐานการทำงานทำนองนี้อยู่แล้ว search tree ที่อยู่ในข้อ 3 จะถูกโปรแกรมในรูปแบบของเงื่อนไข if-then ซึ่งส่วนของ knowledge base นั้นจะถูกโปรแกรมในภาษา LISP

7. การตรวจสอบของ knowledge base

สำหรับการตรวจสอบนั้นจะใช้โปรแกรมของ unit commitment หลายโปรแกรม เมื่อใดก็ตามที่มีคำถามจากผู้ปฏิบัติงานแล้วก็จะมีการใช้ unit commitment expert system เข้ามาช่วยแก้ไข ทุกๆ ปัญหาหนึ่งจะมีการรับรองจาก expert system และ unit commitment base program จะทำการประมวลผลอีกครั้งหนึ่ง ถ้าผลที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจแล้ว ส่วนของ knowledge base ก็จะถูกนำมาปรับปรุงใหม่ และ กระบวนการทั้งหมดจะกระทำซ้ำจนกระทั่งได้ค่าที่ต้องการ

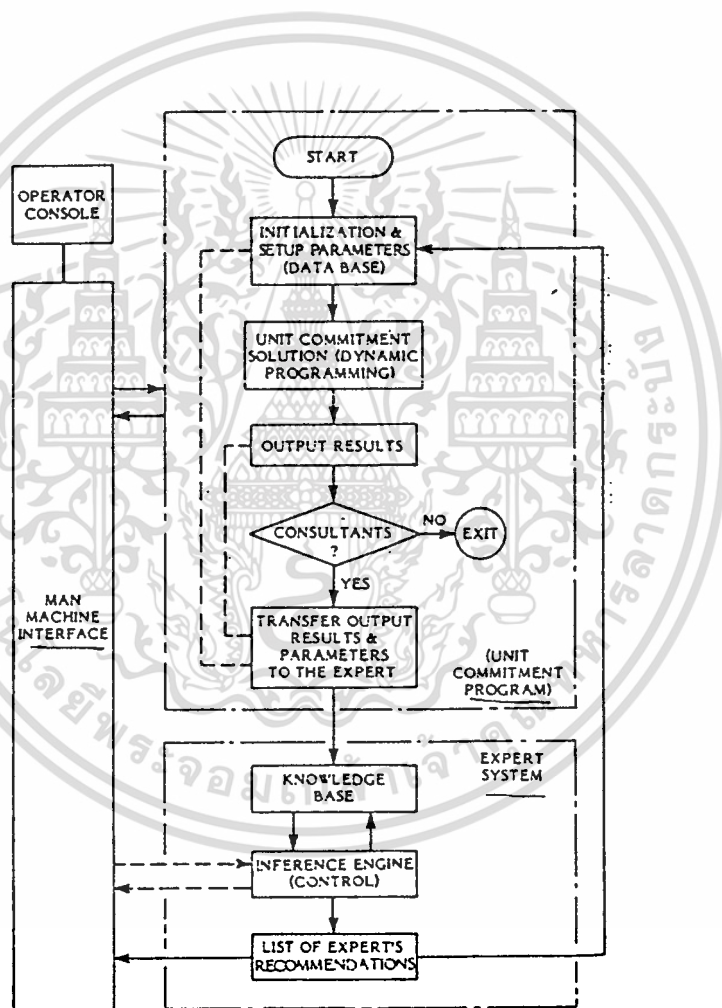
expert system นั้นจะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการวิเคราะห์และปรับปรุงในส่วน of dynamic programming based unit commitment ซึ่งจะถูกนำมาช่วยปรับปรุงผลได้เป็นอย่างดี ระบบนี้ยังอยู่ในช่วงระยะเริ่มต้น ดังนั้นจึงต้องมี knowledge data base เพิ่มเข้าไปเรื่อยๆ ซึ่งส่วนนี้จะช่วยให้คำตอบในการแก้ปัญหาที่เราได้

จำนวนของ unit commitment ที่มีการทำงานจะเป็นตัวที่ถูกนำมาตรวจสอบความสามารถของ expert system ซึ่ง expert system จะมีประโยชน์อย่างมากในการนำมาปรับปรุงผลลัพธ์ กฎเกณฑ์จำนวนมากจะไม่รวมอยู่ใน knowledge base ซึ่งในส่วนนี้ บางกฎจะต้องการข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อที่จะได้รวมอยู่ในโปรแกรม unit commitment ได้ กล่าวคือเมื่อมีข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้อยู่ใน expert system แล้วความสามารถของมันก็จะเพิ่มขึ้น

การใช้งานในอนาคต

ในหัวข้อนี้ expert system จะใช้เป็น post-processor ของ base unit commitment program ผลลัพธ์ของการศึกษานี้ก็เพื่อที่สร้างระบบปิดซึ่งจะแสดงค่าความไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เป็น จริงทั้งหมดของ unit commitment expert system โดยอัตโนมัติรวมไปถึง

การลดการติดต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานและ expert system โดย expert system จะยังมีส่วนของกระบวนการ dynamic programming ซึ่งมันจะถูกนำมาใช้งาน เป็นตัวเลือกการจับหมักกันของ unit



รูปที่ 6.4 Unit Commitment Expert System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 Optimal Short-Term Thermal Unit Commitment

ในหัวข้อนี้จะเสนอวิธีการที่จะใช้ dynamic programming สำหรับเครื่องกำเนิดที่ใช้พลังงานความร้อนที่จะถูกนำมาพิจารณาในการจ่ายกำลังไฟฟ้าวร่วมกัน โดยมีกำหนดลำดับก่อนหลังในการเดินเครื่อง ซึ่งอาจมีการนำวิธี dynamic programming มาหาจุดที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยที่สุด ค่าใช้จ่ายทั้งหมดนั้นรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตของแต่ละ unit รวมกัน (total unit production cost, ค่าใช้จ่ายในการ start เครื่องและปิดเครื่อง ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของ unit โดยค่าใช้จ่ายในการ shut down นั้นจะเป็นค่าที่คงที่ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการ start เครื่องใหม่จะขึ้นอยู่กับเวลาของ unit นั้นที่ได้ปิดไปก่อนที่จะมันจะเปิดขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งและเรายังจะมีการพิจารณาถึงส่วนของข้อบังคับต่างๆ รวมไปถึงส่วนของ spinning reserve อีกด้วย ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ข้อกำหนดต่างๆ ในการทำงาน

ค่าที่ทำการผลิตสูงสุด กับค่าที่ทำการผลิตต่ำสุด ในแต่ละ unit นั้นจะเป็นส่วนที่สามารถบ่งบอกได้ว่า unit ใดบ้างจะทำหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้า ซึ่งในส่วนนี้จะไม่มีการนำเอาผลของการ start และการปิดเครื่องมาเกี่ยวข้องเท่าใดนัก ข้อกำหนดอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละ unit โดยที่กล่าวมานี้จะเป็นตัวที่จะจำกัดในการ start และการปิด unit ดังนั้นเราจึงควรต้องทราบข้อกำหนดต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

- Must run units : unit พวกนี้จะรวมถึง unit ที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้วว่าต้องถูกนำมาต่อเข้ากับระบบ ทั้งนี้เพื่อความน่าเชื่อถือและการประหยัดในการผลิต
- Must out units : จะเป็นหน่วยโรงจักร ที่จะต้องหยุดเครื่องเพื่อบำรุงซ่อมแซม

- Units on fixed generation : เป็นหน่วยโรงจักรที่ได้มีการวางแผนการผลิตไว้ให้คงที่ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โดยโรงจักรในส่วนนี้อาจจะกลายเป็น unit ในแบบ must run ในช่วงเวลาที่ได้มีการกำหนดไว้ในช่วงเวลานั้น

- การเปลี่ยนขีดจำกัดการผลิต ในบางครั้งการหยุดเครื่องและการซ่อมบำรุง อาจลดกำลังผลิตของโรงจักรลง หรือ ในทางกลับกัน การซ่อมแซม unit ที่เสียหาย และการบำรุงรักษาอย่างดี ก็อาจจะเป็นการช่วยเพิ่มกำลังผลิตเพิ่มได้

- Minimum up time และ minimum down time ในการใช้งานของ unit ควรจะต้องมีการศึกษาว่าจะต้อง run เครื่องจักรอย่างต่ำเป็นจำนวนเท่าไรก่อนที่จะปิดเครื่อง และค่า minimum down time จะเป็นเท่าไร จะเป็นเมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

- ข้อกำหนดอื่น ๆ ในโรงจักร ข้อกำหนดในการที่ unit ต่างๆ ภายในโรงจักร เดียวกันจะถูกนำมาเปิดเครื่อง และ/หรือ ปิดเครื่องพร้อมกัน จะถูกนำมาพิจารณา เช่นข้อกำหนดในส่วนของเวลาที่จะต้องใช้ในการนำเครื่องจักรเข้าระบบ และออกจากระบบ

ข้อกำหนดของ Spinning reserve

ถ้ากำลังในการผลิตไฟฟ้า ยังคงมีค่าที่ต่ำอยู่แล้วข้อกำหนดต่าง ๆ ในส่วนของ Spinning reserve ก็ยังมีความจำเป็นในระบบไฟฟ้ากำลัง ความจำเป็นเช่นนี้ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเช่น การหยุดเครื่องจักรที่ทำการผลิต เป็นต้น ข้อกำหนดของ Spinning reserve อาจอยู่ในรูปของ MW ที่มากเกินไป หรือ อยู่ในบางรูปแบบของการวัด reliability ในความเป็นจริงในการกำหนดปริมาณ และ การส่งจ่าย spinning reserve นั้นคิดจาก pool หนึ่งไปยังอีก pool หนึ่งไปยังอีก pool หนึ่ง

ในกรณีของ unit hydro และ pumped storage จะเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่า unit capacity และ unit generation แต่เมื่อ unit pumped storage อยู่ในสภาวะ pumping mode ค่า spinning reserve จะเท่ากับ pumping load

ค่าของ spinning reserve เป็น factor ที่สำคัญในการทำให้ผู้ใช้ไฟ มีความมั่นใจในเสถียรภาพของแหล่งจ่ายไฟ และยังคงต้องมีการกระจายส่วนของ spinning reserve ในส่วนของ load center และในระหว่าง โรงจักรต่าง ๆ ให้มีความเอகสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าสัมพันธกันด้วยดังนั้นข้อกำหนดต่างๆ ของ spinning reserve จะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายที่เพียงพอของ spinning reserve ในระบบ

ต่อไปนี้จะแสดงข้อกำหนดต่างๆ ในการเชื่อมโยงกันของ units

- Fixed total spinning reserve : เป็นค่าที่น้อยที่สุดที่ควรจะมีการ reserve ไว้ในระบบ และ จะถูกจำกัดให้คงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วค่า นี้ จะมีปริมาณที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปีของระบบ
- ค่า spinning reserve ที่น้อยที่สุดในแต่ละพื้นที่ : โดยการกำหนดค่า spinning reserve ที่ต่ำที่สุดในแต่ละพื้นที่ภายในระบบ จะต้องมีความมั่นใจว่า กำลังไฟฟ้านั้นจะเพียงพอสำหรับพื้นที่นั้น ๆ
- ค่า spinning reserve ที่สูงสุดที่ได้รับจากโรงจักรใด ๆ : จะเป็นข้อกำหนดที่มีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้โรงจักรใหญ่เดี่ยว ๆ โรงหนึ่งจ่าย spinning reserve ให้กับโรงจักรอื่น ๆ มากจนเกินไป
- ค่า spinning reserve สูงสุดจากแต่ละหน่วย : จะเป็นข้อกำหนดที่มีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ unit ใด unit หนึ่ง ทำการจ่ายค่า spinning reserve ไปยัง unit อื่นๆ มากเกินไป โดยอาจระบุเป็นค่า capacity และอัตราการตอบสนองในการกำเนิดไฟฟ้า

การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (Fuel Cost Computation)

ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงใน unit commitment อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท โดยประเภทแรกเกิดจาก ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนสถานะ จะเกิดเนื่องค่าใช้จ่ายในการ start unit และจะรวมไปถึงราคาในการปิดเครื่องด้วย ค่าใช้จ่ายในการผลิตคือ ค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิงในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแต่ละ unit, อัตราความร้อน และ ราคาเชื้อเพลิง

ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนสถานะ (Transition Cost)

ในทางปฏิบัติแล้ว จะพบว่าขณะปิดเครื่องจักรจะไม่มี การเสียค่าใช้จ่ายใดๆ เนื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากการปิดเครื่องนั้น แต่ในข้อกำหนดแล้ว จะต้องมียค่าใช้จ่ายทางด้านนี้รวมอยู่ในค่าใช้จ่าย ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบนี้ ทั้งหมดด้วย ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งในแต่ละ unit ค่าใช้จ่ายนี้จะขึ้นอยู่กับช่วงระยะ

เวลาที่เครื่องจักรเดินเครื่องก่อนที่จะปิดลง

ส่วนใหญ่แล้วจะมีการนำค่าใช้จ่ายในการเริ่ม start (start up cost) มาพิจารณาในการแก้ปัญหาของทาง unit commitment ด้วย โดยในการวัดค่า start up cost นี้จะทำให้ถูกต้องได้เมื่อเราทำการวัดในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของแต่ละ unit กล่าวคือ เมื่อ cooling rate ของ unit มีลักษณะเป็น exponential แล้ว เราก็อาจใช้ลักษณะกราฟของราคาที่เป็นรูป exponential ด้วยได้

แทนที่จะทำการปิด unit อย่างสมบูรณ์แบบเลยนั้น บางกรณีการที่จะรักษา unit นั้นไว้ให้อยู่ในระดับความร้อนแบบ standby แล้วจะเป็นการประหยัดกว่า ทางเลือกในการตัดสินใจว่าจะทำการปิด unit หรือ ดำรง unit ไว้ให้อยู่ใน hot standby นั้น จะขึ้นอยู่กับเส้นกราฟคุณลักษณะของราคา 2 เส้น และค่าเวลาของ unit ที่หยุดการทำงานโดยทั่วไปจะต้องการใช้เชื้อเพลิงให้คงที่ ที่ค่า ๆ หนึ่งจะมีความจำเป็นในการรักษา ระดับของอุณหภูมิ และ ความดันของ boiler ได้ดังนั้นเราจะสมมุติให้เส้นกราฟของราคาขณะ standby แปรผันโดยตรงกับเวลาในการดับเครื่อง โดยวิธีนี้ เราสามารถให้ unit ใดๆ ให้มีอุณหภูมิเย็น หรือ ร้อนได้โดยการจัดการที่เชื้อเพลิง

ค่าใช้จ่ายในการผลิต

ค่าใช้จ่ายในการผลิต เป็นค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้ตามค่าที่ต้องการ เนื่องจากจุดประสงค์สูงสุดในการแก้ปัญหาของ unit commitment นั้นจะมีไว้เพื่อลดค่าใช้จ่ายทั้งหมด ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการผลิตจึงต้องลดลงด้วย มีวิธีการในการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดมากมายเพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งวิธีนั้นต้องเข้าใจได้ง่าย, มีความยืดหยุ่น และ มีความรวดเร็ว

flow chart ของวิธีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยกราฟของแต่ละ unit จะถูกสมมุติให้มีลักษณะเป็นเส้นตรง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าจะเริ่มจากหน่วยที่มีค่า incremental cost ต่ำสุด โดยจะเดินเครื่องใน unit ที่มี incremental cost ที่สูงขึ้นไปจนกว่าจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ

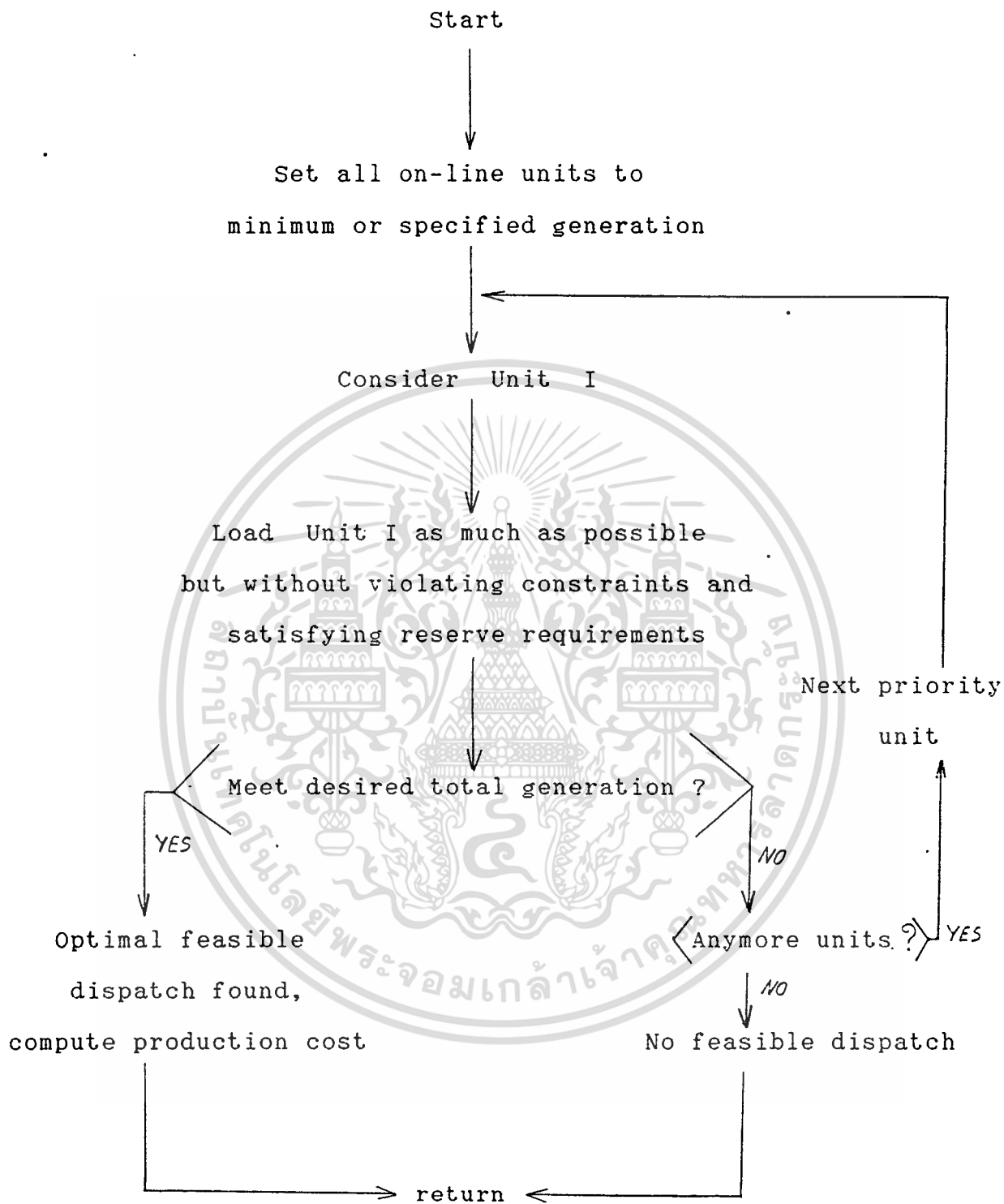
การส่งจ่ายจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยให้อยู่ในช่วงขีดจำกัดสูงสุด และ ต่ำสุด

ของมัน และจะต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์ต่างๆ ของ spinning reserve ข้างต้น ผลลัพธ์ที่ออกมาเป็นคำตอบได้ค่าเดียว

Commitment of units

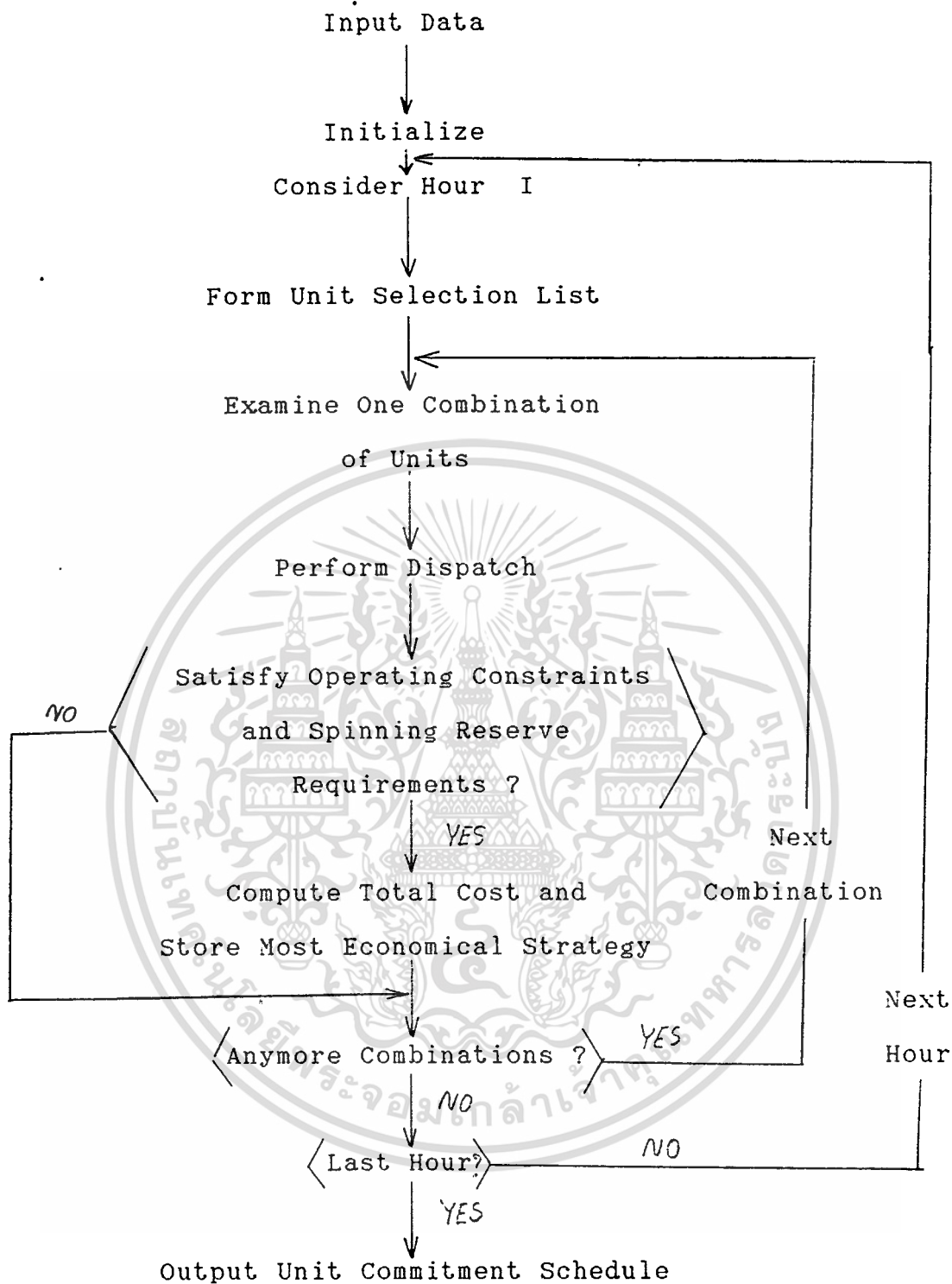
วิธีการ unit commitment จะเป็นวิธีการที่ใช้ในการค้นหาการจัดการทำงานที่ประหยัดสุดในการเริ่มเดินเครื่อง และการปิดเครื่องสำหรับ thermal unit ในระบบ ในขณะที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าขึ้น ค่าที่เหมาะสมจะได้มาจากการทำนายไว้ , กฎเกณฑ์ของ spinning reserve และข้อบังคับต่างๆ ในช่วงเวลาที่ถูกกำหนดมา พบว่า จะเป็นการง่ายขึ้นในการพิจารณาในส่วนของ unit commitment ถ้าหากว่าค่าของเวลาที่เรานำมาทำการพิจารณาได้ถูกแบ่งออกเป็น ช่วง ๆ ละ 1 ชั่วโมง ตัวอย่างของวิธีการในแบบ dynamic programming ที่ถูกนำมาใช้หาค่าที่เหมาะสมตามวิธีการดัง flow chart รูปที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 Flow Chart ของ Optimal Dispatch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 Flow Chart พื้นฐานของ Unit Commitment Procedure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะอธิบายถึงวิธีการต่างๆ จะขออธิบายถึงความหมายของค่า 2 ค่าต่อไปนี้

- Combination : หมายถึง จำนวนวิธีในการจัดหมู่กัน เพื่อทำการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดที่ให้มาดังเช่น ให้จำนวน unit = N ดังนั้นจะมีวิธีการในการจัดหมู่เพื่อทำการผลิตทั้งสิ้น $(2^N - 1)$ วิธี

- Strategy : หมายถึง การเปลี่ยนสภาวะจากการจัดหมู่เพื่อทำการผลิตของเครื่องกำเนิดวิธีหนึ่ง ไปเป็นอีกวิธีหนึ่งในอีกหนึ่งชั่วโมงข้างหน้า โดยอาจมีการ start หรือ การดับเครื่องในบาง unit

กรรมวิธี unit commitment จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกจะเป็นการเลือก unit (รูปที่ 7.2) ส่วนที่ 2 จะเป็นเทคนิคการค้นหา ซึ่งจะได้ค่าที่เหมาะสม (ประหยัดที่สุด)

รูปแบบของการเลือก unit

จุดประสงค์ในการเลือก unit นั้นจะมีไว้เพื่อเป็นการลดจำนวนของ unit ที่ถูกนำมาจัดหมู่รวมกันเพื่อทำการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะต้องมีการตรวจอยู่ทุก ๆ ชั่วโมง ถ้าไม่มีข้อจำกัดใดๆ เกิดขึ้นนั้น เราจะพบว่าจำนวน unit N unit จะมีวิธีในการจัดหมู่เท่ากับ $2^N - 1$ วิธี

ในหัวข้อนี้ รูปแบบการเลือกจะเป็นการพิจารณาในลักษณะที่มีการจัดลำดับก่อนหลังของ unit ในแต่ละ unit โดยวิธีการในการจัดอันดับนั้นจะใช้ค่า average incremental production cost มาทำการพิจารณา ตัวอย่างเช่น สมมติให้ระบบหนึ่งมี 13 unit โดยกำหนดให้ 4 unit เป็น must run ซึ่งจะต่ออยู่กับระบบตลอดเวลาโดยทั้ง 4 unit จะมีอันดับอยู่ 1-4 ใน selection list ส่วน unit ที่เหลือก็จะมีลำดับลดหลั่นกันไป

ต่อไปเราจะทำการหาจำนวน unit ที่น้อยสุด ซึ่งจะเดินเครื่องในระบบตามลำดับของ selection list เพื่อที่จะให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โดยพิจารณาถึงค่าของ spinning reserve ด้วย สมมติให้เป็นจำนวน 8 unit ช่วงการค้นหาคำตอบ จะแสดงด้วยตัวเลขเฉพาะของ unit ที่ต่ำกว่า unit 8 และตัวเลขในช่วง search range จาก unit 7-10 ภายใตีสภาวะดังกล่าว unit 5 และ 6 จะกลายเป็น must run

unit โดยที่ unit ที่สูงกว่า unit 10 ขึ้นไป จะเรียกว่า excess unit ดังรูป 3b จากตัวอย่างข้างต้น จะมี 4 bits ในช่วง search range ซึ่งจะให้ $2^N - 1 = 15$ วิธี บางกรณี ลำพังเพียง 6 unit ที่เป็น must run ก็สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการได้ แต่บางคราวก็ไม่เป็นเช่นนั้น จะต้องเพิ่มจำนวน unit เข้าไปตามจำนวน excess unit ตามลำดับก่อนหลัง จนกระทั่งเพียงพอ โดยเราจะไม่พิจารณากรณีที่เมื่อเพิ่มจำนวน unit เข้าไปหมดแล้ว กำลังไฟฟ้ารวมก็ยังไม่พอที่ต้องการอยู่ดี

แต่ละวิธีของการจัดหมู่ใน unit ช่วง search range รวมถึง must run และ excess unit นั้น หากบาง unit ไม่อยู่ในสภาพการใช้งานได้ วิธีการจัดหมู่จะเปลี่ยนแปลงไป ด้วยเหตุผลที่ว่า วิธีการจัดหมู่เครื่องกำเนิดจะพิจารณาเฉพาะเครื่องกำเนิดที่สามารถเข้ากับระบบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8 ทฤษฎีการจ่ายกำลังไฟฟ้าภายในโรงจักรตามหลักเศรษฐศาสตร์

โรงจักรไฟฟ้า เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อส่งจ่ายไปยังโหลด หรือผู้ใช้ตามจุดต่างๆ โรงจักรไฟฟ้าส่วนมากใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้า เช่น ถ่านหิน, น้ำมันเตา, นิวเคลียร์ โรงจักรไฟฟ้าบางชนิดไม่ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า ดังนั้นการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่สุดควรทำให้โรงจักรชนิดที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงจ่ายโหลด แต่เนื่องจากโรงจักรที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องมีการทำงานร่วมกันกับโรงจักรประเภทใช้เชื้อเพลิงด้วย โรงจักรประเภทใช้เชื้อเพลิงนั้นมีประสิทธิภาพไม่เท่ากันทุกโรง ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ว่า สำหรับกำลังไฟฟ้าของระบบขนาดหนึ่งที่ต้องจ่ายจากโรงจักรประเภทใช้เชื้อเพลิง ควรรับกำลังไฟฟ้าจากแต่ละหน่วยของโรงจักรเท่าใด

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะพิจารณาการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดจากโรงจักรประเภทที่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละหน่วยภายในโรงจักรเมื่อทราบขนาดกำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจากโรงจักรนั้น ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง และ กำลังไฟฟ้าของโรงจักร

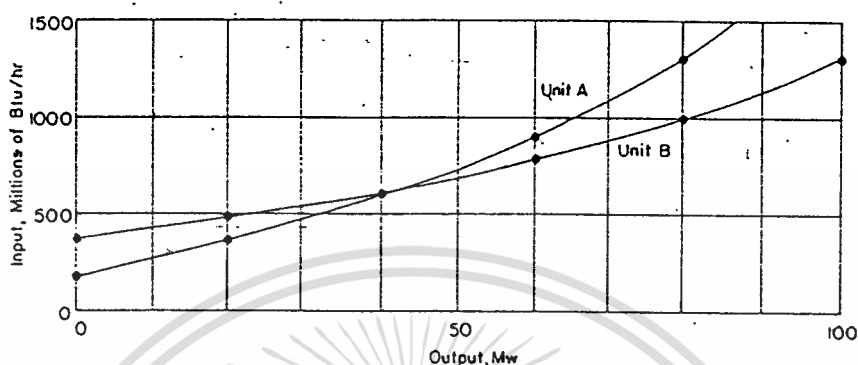
- กราฟ Input-Output เป็นกราฟที่แสดงสมรรถนะของโรงจักรนั้น โดยแกนนอนแทนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แกนตั้งแทนพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของหม้อน้ำ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน ประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวพิจารณาได้จากอัตราส่วนของปริมาณความร้อนต่อเวลาจากเชื้อเพลิงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวยิ่งต่ำก็แสดงว่าระบบการผลิต

ดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูง ค่า Input สามารถเขียนในหน่วย Btu. (British thermal units)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เมื่อเทียบแล้ว 1 บาร์เรลของน้ำมัน มีค่าประมาณ 6,250,000 Btu. ไปใช้

1 ล้านลบ.ฟุตของก๊าซ มีค่าประมาณ 1,000,000 Btu.

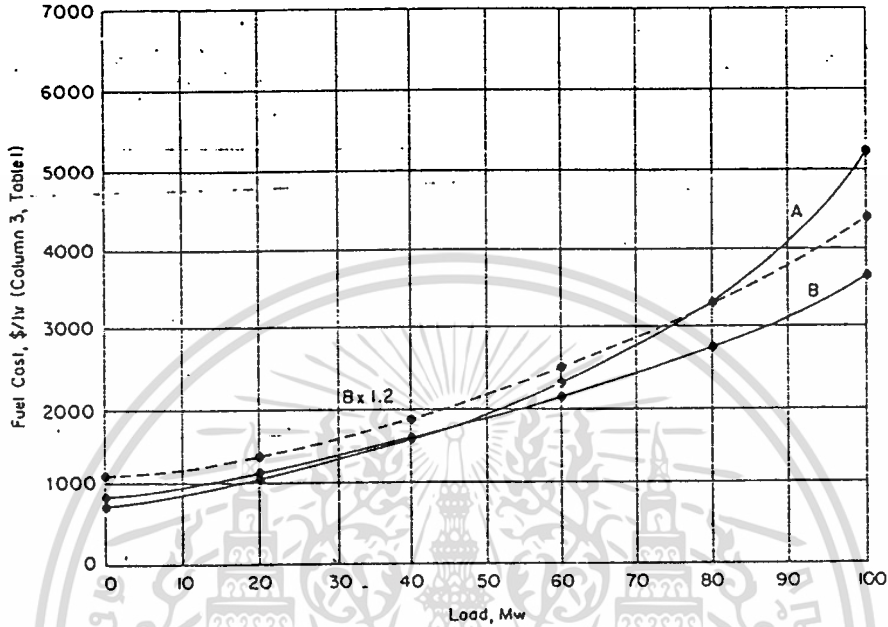


รูปที่ 8.1 กราฟ Input-Output ของโรงจักรพลังความร้อน 2 หน่วย

จากกราฟสังเกตว่าขณะ no load นั้นปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของ unit B มากกว่า unit A แต่หลังจากอัตราการผลิตตั้งแต่ 40 MW ขึ้นไปจะมีลักษณะกลับกันคือ unit A จะใช้ปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่า unit B ที่ระดับกำลังการผลิตหนึ่งๆ

เมื่อนำส่วนแกนตั้งของกราฟ Input-Output (พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้มาคูณกับราคาเชื้อเพลิงที่ใช้) จะได้กราฟ Input-Output ที่แสดงความสัมพันธ์ของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



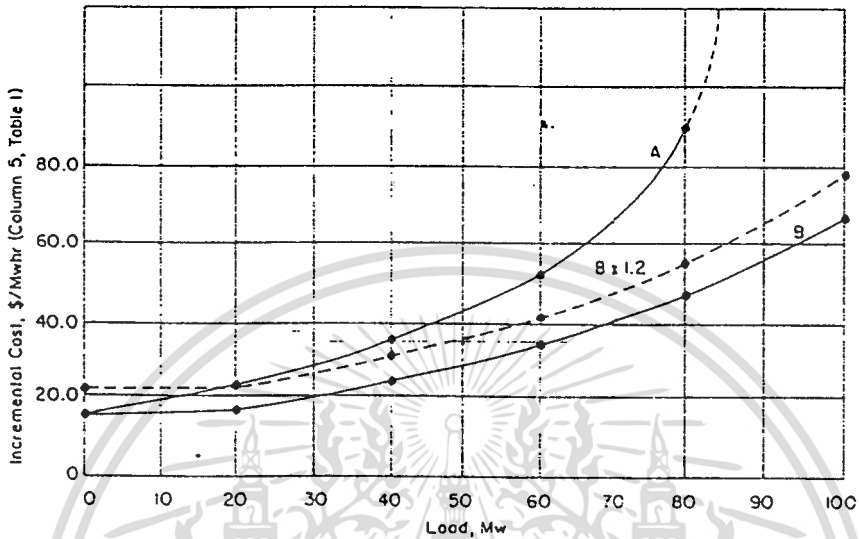
รูปที่ 8.2 กราฟ Input-Output ที่แสดงค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่อเวลา (\$/hr.) กับกำลังไฟฟ้า

- อัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง (Incremental fuel cost)

อัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง หมายถึง อัตราส่วนของค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปต่อกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งก็เท่ากับความชันของกราฟ Input-Output ที่แสดงความสัมพันธ์ของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อเวลา กับ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

$$\text{อัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง} = \frac{dF}{dP}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 F คือ ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง \$/hr.
 P คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ MW



รูปที่ 8.3 กราฟ Incremental cost ของโรงจักร unit A และ B

- อัตราค่าใช้จ่ายในการผลิต (Incremental production cost)

ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า ไม่ใช่มีเฉพาะค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง แต่มีค่าบำรุงรักษา ค่าคนงาน และอื่น ๆ อัตราค่าใช้จ่ายในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยใดประกอบด้วยอัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง และ อัตราค่าใช้จ่ายของค่าบำรุงรักษา ค่าคนงานและอื่นๆ การหาอัตราค่าใช้จ่ายในการผลิตให้เป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าไม่สามารถทำได้โดยตรง วิธีที่ง่ายกันเพื่อหาอัตราค่าใช้จ่ายพวกค่าบำรุงรักษา ค่าคนงานอื่นๆ ทำได้โดยการคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่คงที่ของอัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง

การจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดภายในโรงจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การหาการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัด จาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายหน่วยภายในโรงจักร จำเป็นต้องทราบอัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละหน่วยภายใน

ในโรงจักรก่อน ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งลักษณะของกราฟ Input-Output และกราฟ incremental fuel cost จะไม่เปลี่ยนไปตามสภาวะการแปรราคาของเชื้อเพลิง แต่จะต้องใช้ scale ตามแกนตั้งใหม่ เราจึงสามารถพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการจ่าย load ได้ทุกค่าของราคาเชื้อเพลิงใดๆ ก็ตาม

สมมติโรงจักรที่กำลังพิจารณามีเครื่องกำเนิด n หน่วยร่วมกันจ่าย load

กำหนดให้ P_i = กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด i

F_i = ค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิด i ต่อ ชม.

F_c = ค่าใช้จ่ายรวมของระบบต่อชม.

ดังนั้น

$$F_c = \sum F_i \quad (8.1)$$

การจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัด หมายถึง F_c ต้องมีค่าต่ำสุดที่ P_d คงที่ใดๆ

$$\sum P_i = P_d \quad (8.2)$$

เนื่องจากค่าใช้จ่ายรวม F_c เป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้า P_1, P_2, \dots, P_n

ดังนั้นการจ่ายโหลดอย่างประหยัดต้องได้ $dF_c = 0$

$$dF_c = \frac{dF_c}{dP_1} dP_1 + \frac{dF_c}{dP_2} dP_2 + \dots + \frac{dF_c}{dP_n} dP_n = 0 \quad (8.3)$$

เนื่องจาก P_d คงที่ดังนั้น diff. ของมันมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\begin{aligned} dP_1 + dP_2 + \dots + dP_n &= 0 \\ \left(\frac{dF_c}{dP_1} - \lambda\right) dP_1 + \left(\frac{dF_c}{dP_2} - \lambda\right) dP_2 + \dots + \left(\frac{dF_c}{dP_n} - \lambda\right) dP_n &= 0 \end{aligned} \quad (8.4)$$

ซึ่งเป็นสมการ Lagrang ซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อแต่ละเทอมมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{dF_c}{dP_i} = \lambda$$

$$\sum F_i = \lambda$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad (8.5)$$

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเป็นไปตามสมการ

$$\frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} = \dots = \frac{dF_3}{dP_3} = \lambda \quad (8.6)$$

ซึ่งหมายถึงเครื่องกำเนิดทุกหน่วยที่ร่วมกันจ่ายโหลดได้อย่างประหยัดที่ต้องมีอัตราค่า
ใช้จ่ายเชื้อเพลิงเท่ากันทุกหน่วย

ตัวอย่าง โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำแห่งหนึ่งมี 2 units ๗ ละ 200 MW อดยทำงาน
ตลอดเวลาทั้งปี มีค่า min. และ max. load ตั้งแต่ 50-200 MW อดยมีค่า
incremental fuel cost characteristic ของเครื่องดังนี้

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 0.08 P_1 + 15$$

$$dP_1$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 0.10 P_2 + 13$$

$$dP_2$$

เมื่อ P_1 และ P_2 คือ load (MW) ถ้า total load มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระ
หว่าง 100-400 MW ำให้แบ่ง load ระหว่าง unit ทั้ง 2 เพื่อให้ได้ total cost
ต่ำสุดที่การเปลี่ยนแปลงของ total load ต่างๆ

ที่ total loadต่ำสุด unit 1 จะทำงานที่ 50 MW และมีค่า incremental fule
cost สูงกว่า unit 2 ผลรวม total minimum load = 100 MW

$$\lambda_1 = \frac{dF_1}{dP_1} = (0.08 \times 50) + 15 = 19$$

$$\lambda_2 = \frac{dF_2}{dP_2} = (0.10 \times 50) + 13 = 18$$

เนื่องจาก $\lambda_2 < \lambda_1$ ดังนั้น load ของ unit ที่ 2 ควรจะถูกเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง
 λ_2 เท่ากับ λ_1 นั่นคือจนกระทั่งเท่ากับ 19 สมมุติว่า load ของ unit 2 ขณะ
เวลานั้น เท่ากับ X อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(0.1X + 13) = 19$$

$X = 60$ MW เป็น load ของ unit 2 ที่ทำให้ incremental fuel cost เริ่มเท่ากันโดยมีผลรวมกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตจากรองจักรเท่ากับ $50+60=110$ MW ต่อมาทำการเพิ่ม load ของแต่ละ unit ยังทำงานที่เดียวกันจนกระทั่งค่าสูงสุดของกำลังผลิตที่ unit 1 จะผลิตได้คือ 200 MW และต่อมาทำการเพิ่ม load ของ unit 2 โดยยังคงรักษาค่า load ของ unit 1 (200 MW) แม้ว่าที่ค่าสุดท้ายนี้จะไม่เป็นการทำงานที่ λ เท่ากันก็ตาม การดำเนินการผลิตเพิ่มการประหยัด ทุก ๆ ค่าของ incremental fuel cost เพื่อให้ได้ผลรวม load ต่างๆ แสดงได้ดังนี้

λ	P_1	P_2	total load
18	50	50	100
19	50	60	110
20	62.5	70	132.5
21	87.5	90	167.5
25	125	120	245
28	163	150	313
30	188	170	358
31	200	180	380
32	200	200	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 โปรแกรมการคำนวณกำลังผลิตด้วยค่า Incremental Fuel Cost

จากข้อมูลของฝ่ายควบคุมประสิทธิภาพ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งได้ทำการทดสอบหาค่า Incremental Heat Rate curve (IHR) ของเครื่องจักรที่โรงไฟฟ้าต่าง ๆ และได้นำเอาค่า IHR นี้ มาหาค่า Incremental cost curve (IC) แสดงดังตารางที่ 9.1

จากตารางที่ 9.1 จะเห็นได้ว่า ค่า Incremental cost curve มีการแบ่งกลุ่มอย่างชัดเจนตามชนิดเชื้อเพลิงคือ ถ่านหิน ก๊าซ และ น้ำมัน ดังนั้น การจ่ายโหลดร่วมระหว่างโรงจักรไฟฟ้ายังเป็นไปไม่ได้ แต่สิ่งที่เป็นไปได้คือ การจ่ายโหลดร่วมระหว่างแต่ละหน่วยผลิตภายในโรงจักรไฟฟ้าเดียวกัน

ตามทฤษฎีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Incremental fuel cost) ระหว่างหน่วยผลิตภายในโรงจักรนั้น เราสามารถนำมาสร้างโปรแกรมเลียนแบบการคำนวณ เพื่อให้หาจุดผลิตอย่างประหยัดของเครื่องจักรแต่ละหน่วยภายในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเดียวกันได้ โดยขั้นต้นนี้ เนื่องจากขีดจำกัดทางข้อมูล เราจะยังไม่คำนึงถึงข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลา ในการ start up และ shut down ของในแต่ละหน่วยการผลิต , ตารางการดูแลรักษาหน่วยการผลิตแต่ละเครื่อง, ขีดจำกัดการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตของหน่วยผลิตนั้น ๆ และ การเกิดค่า Spinning reserve จากระบบรวมอันจะช่วยลดกำลังผลิต ณ เวลานั้น โดยเราจะใช้ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าจาก กฟผ. ในวันที่ 22 มิถุนายน 2536 มาทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานแสดงดัง Flow chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

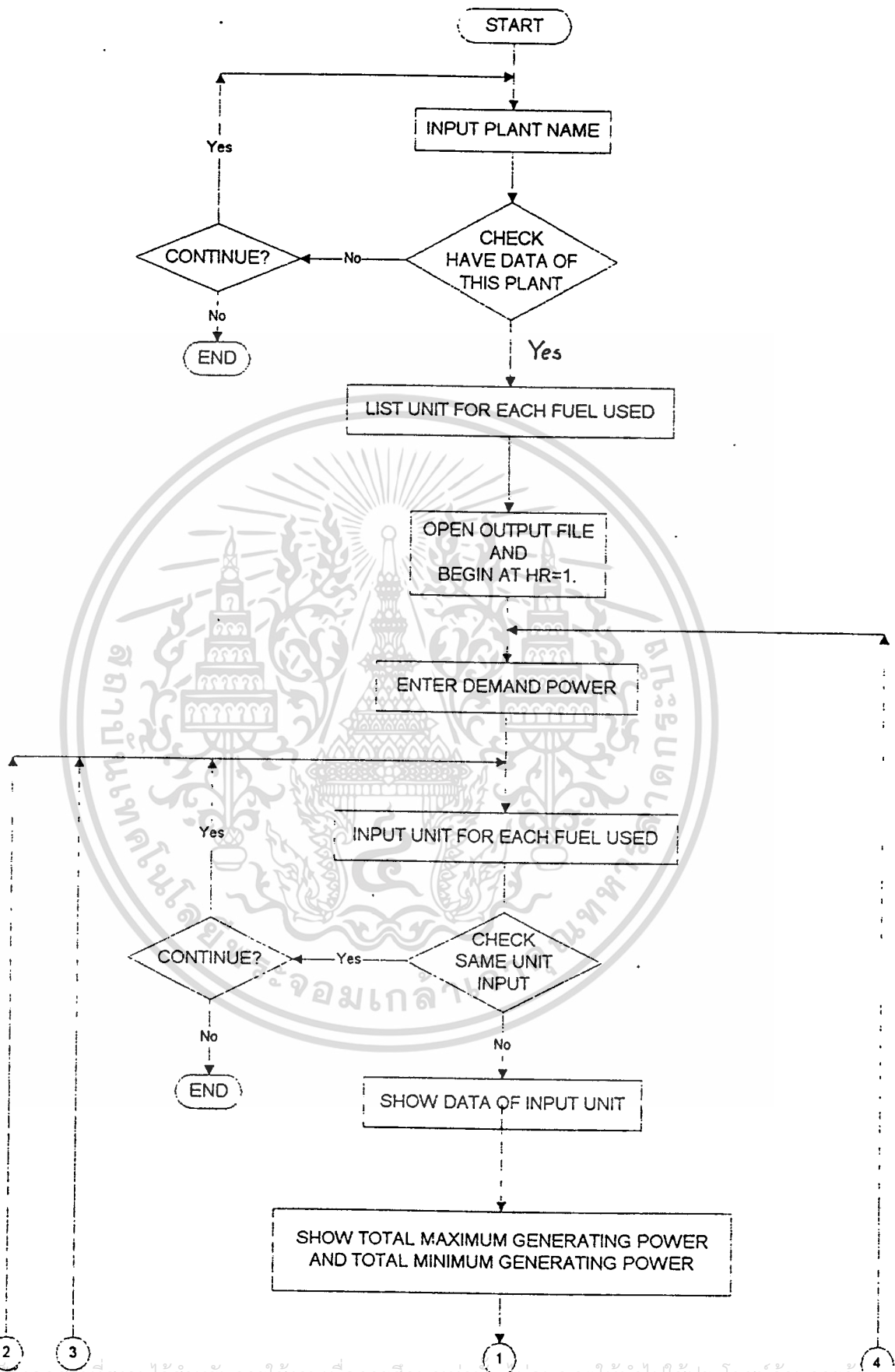
ชื่อโรงไฟฟ้า UNIT #	MW		ชนิดเชื้อเพลิง	ราคาเชื้อเพลิง B/GCAL	IHR		IC		(A × X) + B	
	MIN	MAX			A1	B1	A	B	MIN	MAX
MM 8-9	150	300	LIG	145.119047	0.0025007778	1.5078717	0.3629104926	218.82090501	273.2574	327.6940
MM 4-7	100	150	LIG	145.119047	0.0004761778	2.2709807	0.0691024659	329.5625563	336.4728	339.9279
MM 1-3	60	75	LIG	145.119047	0.0040417734	2.4363325	0.5865383064	353.55825204	388.7505	397.5486
BPK 1	250	550	GAS	268.690476	0.000005386	2.10235	0.0014471669	564.88142222	565.2432	565.6773
BPK 2	250	550	GAS	268.690476	0.000004995	2.1049015	0.0013421089	565.56698597	565.9025	566.3051
SB 3-5	150	352	GAS	268.690476	0.0000583247	2.2560055	0.0156712828	606.16719165	608.5178	611.6834
SB1-2	100	225	GAS	268.690476	0.0007868	2.20351	0.2114056665	592.06215077	613.2027	639.6284
BPK CC B2	300	360	GAS	268.690476	0.0003036808	2.345547	0.0815961495	630.22613991	654.7049	659.6007
BPK CC B1	300	360	GAS	268.690476	0.0003107764	2.372362	0.0835026481	637.43107502	662.4818	667.4920
SB 3-5	150	352	LV OIL	349.365079	0.0000752531	2.1574425	0.0262907996	753.73506945	757.6786	762.9894
SB 1-2	100	225	LV OIL	349.365079	0.0002491999	2.15819	0.0870617358	753.99621985	762.7023	773.5851
NB 3	45	85	OIL	351.507936	0.0015133885	2.1355956	0.531968068	750.67880149	774.6173	795.8960
NB1	40	75	OIL	351.507936	0.0045642715	2.0816583	1.6043776543	731.71941249	795.8945	852.0477
NB 2	40	75	OIL	351.507936	0.0006788571	2.2653971	0.2386236721	796.30505884	805.8500	814.2018
SB 3-5	150	352	OIL	351.507936	0.0000209118	2.3162276	0.0073506623	814.17238298	815.2749	816.7598
SB 1-2	100	225	OIL	351.507936	0.0002604	2.30683	0.0915326665	810.869052	820.0223	831.4639
KN 2	60	75	OIL	351.507936	0.0031575238	2.2205738	1.1098946738	780.54931317	847.1429	863.7914

ตาราง 9.1 ค่า Incremental cost curve ของเครื่องจักรความร้อนในโรงไฟฟ้า ต่าง ๆ

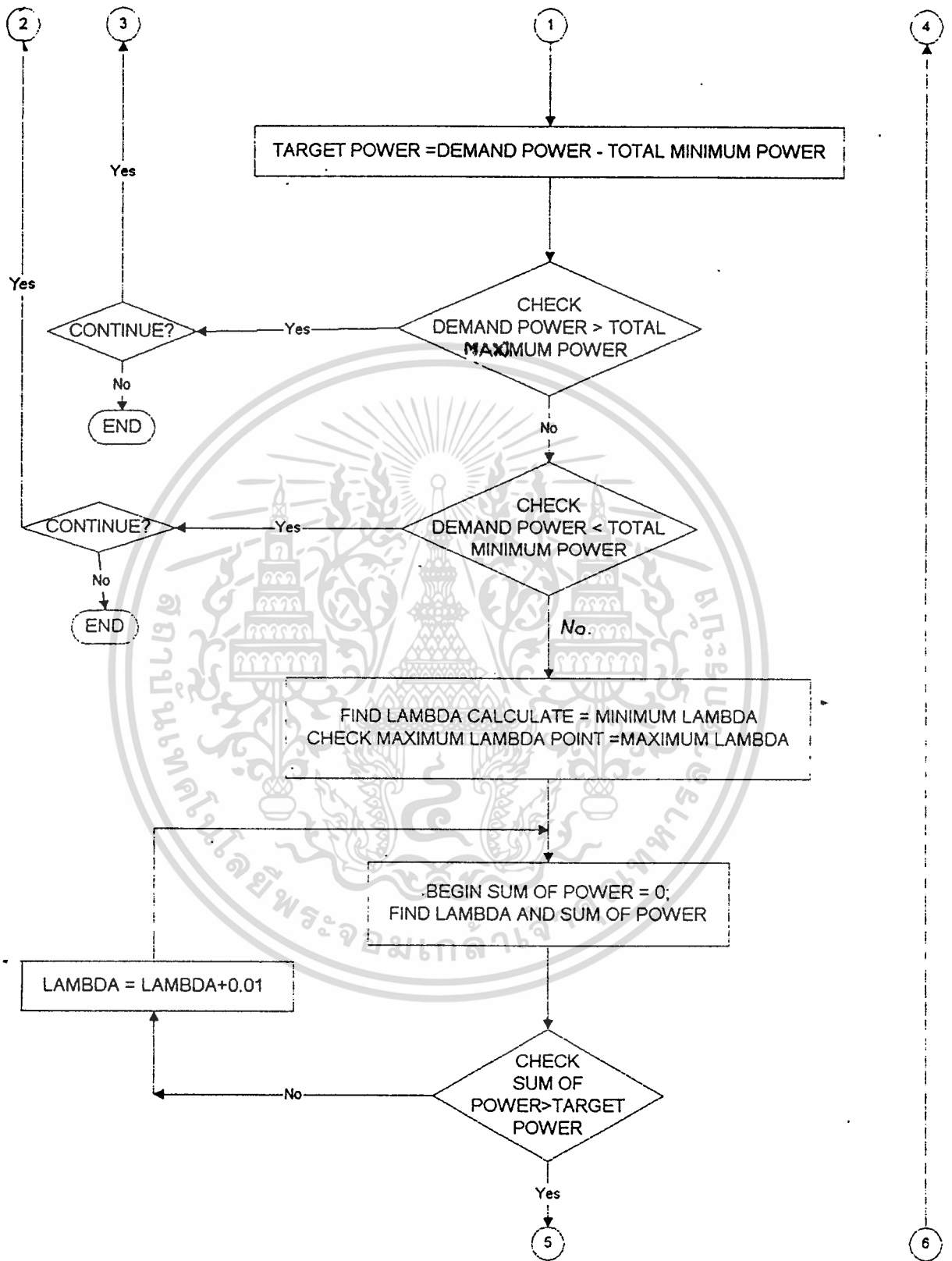
ตาราง 9.2 ค่าความต้องการไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน วันที่ 22 มิถุนายน 2536

TIME	THERMAL									TOTAL
	NB	SB	BPK	MM1-3	MM4-7	MM8-11	KA	SRT	KN	
01.00	201.6	1041.8	1419.7	161.7	612.0	1115.9	16.0	25.0	151.0	4744.7
02.00	124.5	1032.6	1203.6	209.4	596.7	1115.7	16.0	25.0	150.1	4473.6
03.00	128.7	856.5	1187.8	219.5	601.6	1119.9	16.2	24.7	150.1	4305.0
04.00	128.6	853.6	1191.1	220.8	601.6	1118.1	14.4	24.9	150.2	4303.3
05.00	130.1	957.2	1295.2	221.5	602.9	1124.3	0.0	24.7	146.4	4502.3
06.00	233.9	1170.5	1522.0	220.8	602.5	1121.6	16.0	24.8	159.0	5071.1
07.00	233.7	812.3	1326.0	221.6	603.1	1120.2	0.0	24.7	150.6	4492.2
08.00	235.3	1309.7	1524.8	221.2	606.0	1163.2	0.0	25.1	150.4	5235.7
09.00	234.9	1376.2	1644.5	219.9	613.5	1231.8	0.0	24.8	150.2	5495.8
10.00	235.5	1363.8	1496.0	220.5	614.9	1228.2	0.0	24.9	150.4	5334.2
11.00	234.7	1365.3	1583.1	219.5	612.9	1232.2	0.0	24.9	150.4	5423.0
12.00	237.1	1374.1	1703.9	220.2	615.6	1228.9	0.0	24.8	150.4	5555.0
13.00	237.3	1381.3	1874.8	223.5	616.3	1233.5	0.0	25.1	150.1	5741.9
14.00	232.6	1369.2	1893.6	220.0	615.6	1229.5	0.0	24.9	150.0	5735.4
15.00	236.0	1371.0	1903.1	221.5	614.0	1228.6	0.0	24.9	150.2	5749.3
16.00	237.0	1374.4	1932.8	219.5	613.5	1228.3	0.0	24.9	150.8	5781.2
17.00	234.9	1363.4	1816.9	218.7	612.5	1220.4	0.0	25.1	150.5	5642.4
18.00	219.6	1367.2	1701.2	219.1	612.9	1225.1	0.0	24.8	149.9	5519.8
19.00	233.4	1373.7	1852.8	219.7	613.3	1224.3	0.0	24.5	150.4	5692.1
19.30	235.3	1370.1	1991.3	218.1	614.4	1228.9	0.0	24.5	150.3	5832.9
20.00	233.6	1373.5	2004.7	218.7	613.0	1228.4	0.0	24.5	150.3	5846.7
21.00	224.5	1372.9	1979.2	220.5	614.1	1221.4	0.0	24.5	150.5	5807.6
22.00	230.9	1378.2	2002.3	219.9	617.5	1228.7	0.0	24.6	149.3	5851.4
23.00	234.6	1367.0	1896.9	218.4	550.4	1225.1	0.0	24.6	150.7	5667.7
24.00	234.6	1180.7	1403.2	219.8	465.2	1227.1	16.3	24.9	150.2	4922.0

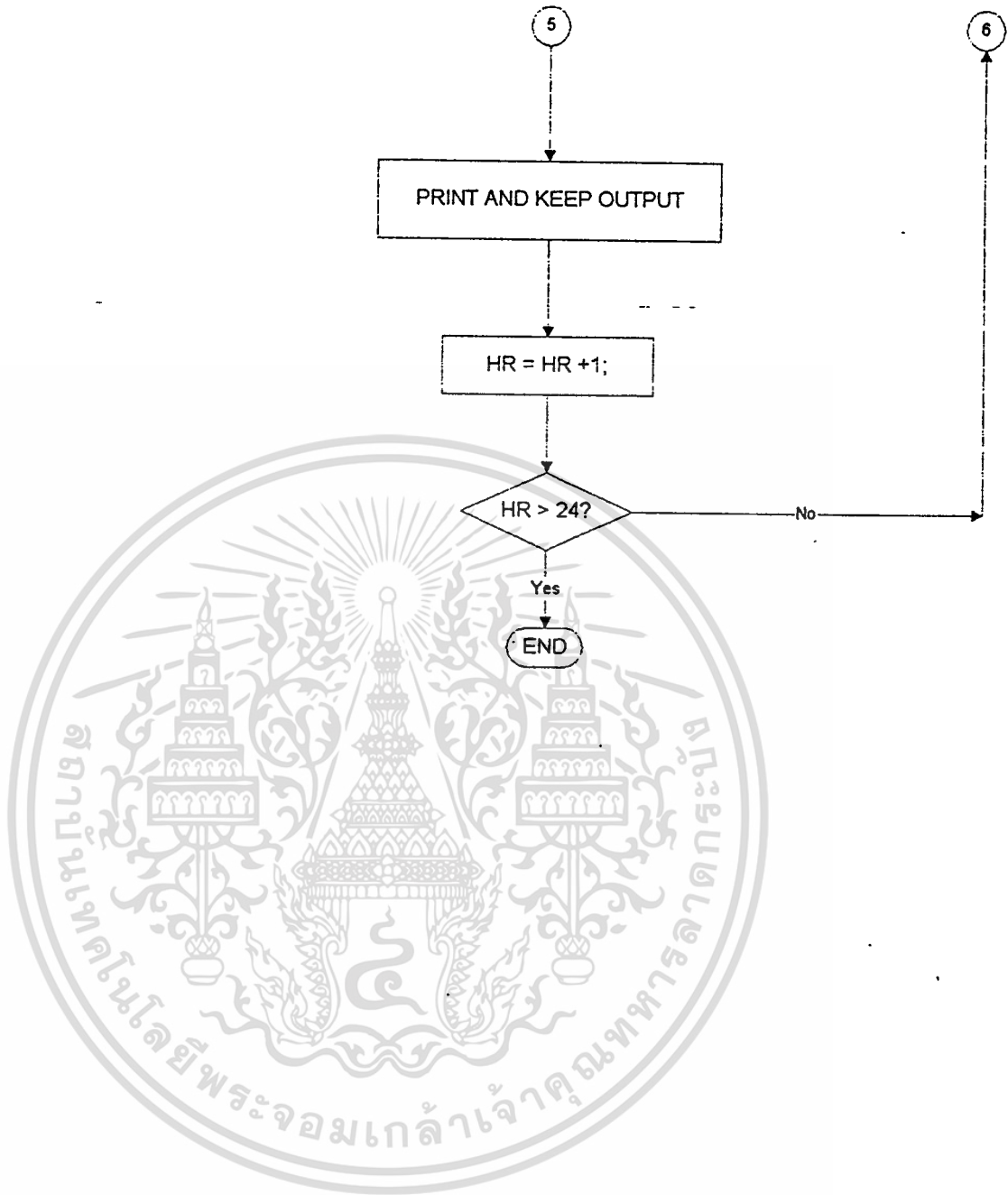
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบโปรแกรม

จะใช้กรณีศึกษาพิจารณาถึงการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนพระนครใต้ ซึ่งมีข้อมูลแปรผันตามชนิดเชื้อเพลิงมากที่สุด กล่าวคือ จะมีการเลือกใช้เชื้อเพลิงในแต่ละชนิด มาทำการผลิตไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง เพื่อเป็นการทดสอบการรันโปรแกรม โดยผลการทดสอบจะเป็นการแสดงถึงความแตกต่าง ในการเปรียบเทียบ ค่า Incremental fuel cost ตามแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 1.00 o'clock for demand power 1041.8000 MW.
POWER PLANT : SB

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	100.0000	613.2022	NATURAL GAS
2	100.0000	613.2022	NATURAL GAS
3	280.7526	610.5697	NATURAL GAS
4	280.7526	610.5697	NATURAL GAS
5	280.7526	610.5697	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1042.8577 MW ERROR : 0.1018

Generating schedual at 2.00 o'clock for demand power 1032.6000 MW.
POWER PLANT : SB

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	100.0000	613.2022	NATURAL GAS
2	100.0000	613.2022	NATURAL GAS
3	277.7587	610.5197	NATURAL GAS
4	277.7587	610.5197	NATURAL GAS
5	277.7587	610.5197	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1033.2760 MW ERROR : 0.0655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับราชการเพื่อการศึกษาและวิจัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดูถูกและตั้งชื่อในสิ่งถึงเจ้าของเอกสารนี้หรือครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 3.00 o'clock for demand power 856.5000 MW.
POWER PLANT : 38

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	203.2702	635.0335	NATURAL GAS
2	203.2702	635.0335	NATURAL GAS
3	150.0000	815.2824	OIL
4	150.0000	815.2824	OIL
5	150.0000	815.2824	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 856.5400 MW ERROR : 0.0007

Generating schedual at 4.00 o'clock for demand power 953.6000 MW.
POWER PLANT : 38

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	201.8023	634.7232	NATURAL GAS
2	201.8023	634.7232	NATURAL GAS
3	150.0000	815.2824	OIL
4	150.0000	815.2824	OIL
5	150.0000	815.2824	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 953.6046 MW ERROR : 0.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอันใดของเอกสารฉบับนี้เพื่อนำไปใช้

Generating schedual at 5.00 o'clock for demand power 957.2000 MW.
POWER PLANT : SB

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
2	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
3	169.1463	758.1837	L.V. OIL
4	169.1463	758.1837	L.V. OIL
5	169.1463	758.1837	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 957.4339 MW ERROR : 0.0290

Generating schedual at 6.00 o'clock for demand power 1170.5000 MW.
POWER PLANT : SB

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
2	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
3	240.3184	760.0555	L.V. OIL
4	240.3184	760.0555	L.V. OIL
5	240.3184	760.0555	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1170.9551 MW ERROR : 0.0389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 7.00 o'clock for demand power 812.3000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	100.0000	762.7062	L.V. OIL
2	100.0000	762.7062	L.V. OIL
3	204.4260	759.1115	L.V. OIL
4	204.4260	759.1115	L.V. OIL
5	204.4260	759.1115	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING 812.0000 MW ERROR 0.1204

Generating schedual at 8.00 o'clock for demand power 1309.7000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	126.3781	765.0473	L.V. OIL
2	126.3781	765.0473	L.V. OIL
3	352.0000	762.9927	L.V. OIL
4	352.0000	762.9927	L.V. OIL
5	352.0000	762.9927	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1309.7563 MW ERROR : 0.0043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 9.00 o'clock for demand power 1376.2000 MW.
POWER PLANT : SB

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	160.1265	767.9432	L.V. OIL
2	160.1265	767.9432	L.V. OIL
3	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
4	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
5	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1376.2031 MW ERROR : 0.0030

Generating schedual at 9.00 o'clock for demand power 1363.8000 MW.
POWER PLANT : SB

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	153.9207	767.4027	L.V. OIL
2	153.9207	767.4027	L.V. OIL
3	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
4	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
5	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1363.8414 MW ERROR : 0.0030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 11.00 o'clock for demand power 1365.3000 MW.
POWER PLANT : 3B

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	773.5937	L.V. OIL
2	225.0000	773.5937	L.V. OIL
3	306.2480	816.4387	OIL
4	306.2480	816.4387	OIL
5	306.2480	816.4387	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING 1368.7441 MW ERROR : 0.2523

Generating schedual at 12.00 o'clock for demand power 1377.0000 MW.
POWER PLANT : 3B

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	773.5937	L.V. OIL
2	225.0000	773.5937	L.V. OIL
3	306.2534	816.4387	OIL
4	306.2534	816.4387	OIL
5	306.2534	816.4387	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1376.0601 MW ERROR : 0.2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedule at 13.00 o'clock for demand power 1391.3000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	162.6617	825.7526	OIL
2	162.6617	825.7526	OIL
3	352.0000	816.7772	OIL
4	352.0000	816.7772	OIL
5	352.0000	816.7772	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1391.3234 MW ERROR : 0.0017

Generating schedule at 13.00 o'clock for demand power 1391.3000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	162.6617	825.7526	OIL
2	162.6617	825.7526	OIL
3	352.0000	816.7772	OIL
4	352.0000	816.7772	OIL
5	352.0000	816.7772	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1391.3234 MW ERROR : 0.0017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedul at 15.00 o'clock for demand power 1371.0000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	157.5768	825.2892	OIL
2	157.5768	825.2892	OIL
3	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
4	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
5	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1371.1936 MW ERROR : 0.0141

Generating schedul at 15.00 o'clock for demand power 1374.0000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	157.2377	825.4393	OIL
2	157.2377	825.4393	OIL
3	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
4	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
5	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1374.4755 MW ERROR : 0.0057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 17.00 o'clock for demand power 1363.4000 MW.
POWER PLANT : SP

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	153.7339	824.9357	OIL
2	153.7339	824.9357	OIL
3	352.0000	762.9927	L.V. OIL
4	352.0000	762.9927	L.V. OIL
5	352.0000	762.9927	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING 1363.4071 MW ERROR : 0.0001

Generating schedual at 17.00 o'clock for demand power 1367.4060 MW.
POWER PLANT : SP

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	153.7030	825.1150	OIL
2	153.7030	825.1150	OIL
3	352.0000	762.9927	L.V. OIL
4	352.0000	762.9927	L.V. OIL
5	352.0000	762.9927	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1367.4060 MW ERROR : 0.0151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 10.00 o'clock for demand power 1373.7000 MW.
POWER PLANT : SC

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
2	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
3	352.0000	762.9927	L.V. OIL
4	352.0000	762.9927	L.V. OIL
5	219.9245	815.7992	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING 1373.9246 MW ERROR : 0.0164

Generating schedual at 10.00 o'clock for demand power 1373.5000 MW.
POWER PLANT : SC

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	150.0000	625.3993	OIL
2	150.0000	625.3993	OIL
3	352.0000	613.6330	NATURAL GAS
4	352.0000	613.6330	NATURAL GAS
5	352.0000	762.9927	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING 1373.0000 MW ERROR : 0.0077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 21.00 o'clock for demand power 1372.9000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	773.5937	L.V. OIL
2	225.0000	773.5937	L.V. OIL
3	286.2137	816.2904	OIL
4	286.2137	816.2904	OIL
5	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1374.4272 MW ERROR : 0.1112

Generating schedual at 22.00 o'clock for demand power 1379.2000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	225.0000	639.6272	NATURAL GAS
2	225.0000	773.5937	L.V. OIL
3	352.0000	762.9927	L.V. OIL
4	352.0000	762.9927	L.V. OIL
5	225.3352	815.8399	OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1379.3352 MW ERROR : 0.0824

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generating schedual at 23.00 o'clock for demand power 1367.0000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	155.5296	767.5428	L.V. OIL
2	155.5296	767.5428	L.V. OIL
3	352.0000	762.9927	L.V. OIL
4	352.0000	762.9927	L.V. OIL
5	352.0000	611.6830	NATURAL GAS
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

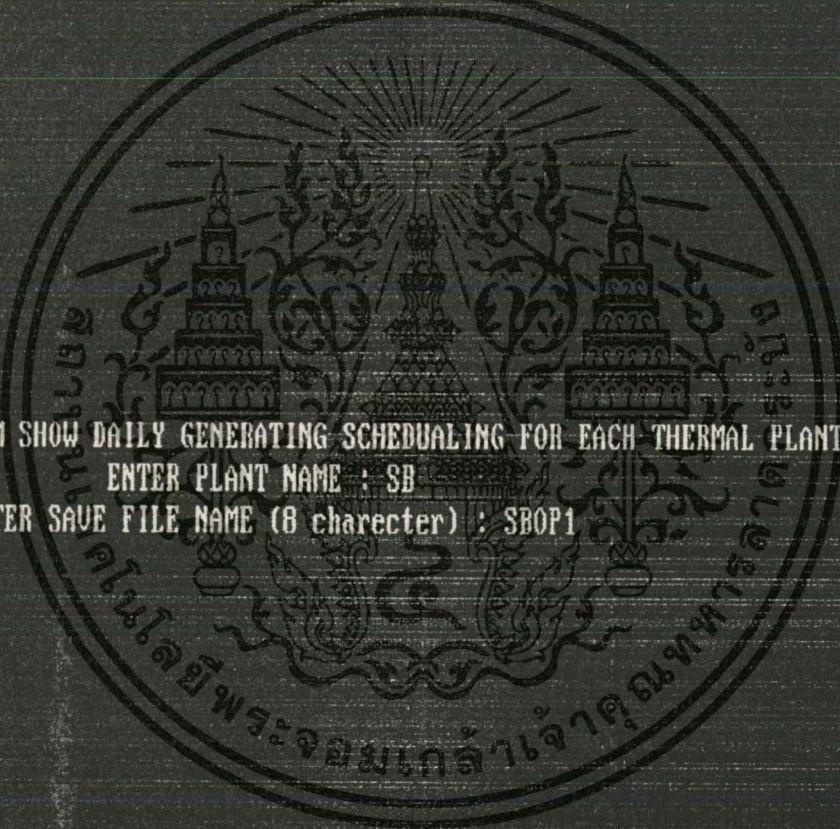
TOTAL GENERATING : 1367.0975 MW ERROR : 0.0045

Generating schedual at 24.00 o'clock for demand power 1180.0000 MW.
POWER PLANT : SE

UNIT	POWER	LAMBDA	FUEL TYPE
1	100.0000	820.0191	OIL
2	100.0000	820.0191	OIL
3	315.5518	816.5075	OIL
4	315.5518	816.5075	OIL
5	352.0000	762.9927	L.V. OIL
6	0.0000	0.0000	NO USE!
7	0.0000	0.0000	NO USE!
8	0.0000	0.0000	NO USE!
9	0.0000	0.0000	NO USE!
10	0.0000	0.0000	NO USE!
11	0.0000	0.0000	NO USE!
12	0.0000	0.0000	NO USE!
13	0.0000	0.0000	NO USE!
14	0.0000	0.0000	NO USE!

TOTAL GENERATING : 1182.1035 MW ERROR : 0.2036

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of King Chulalongkornrajavidyalaya University is circular, featuring a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The parasol is flanked by two smaller three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text within the seal includes 'มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์' (Mahavithayalai Chulalongkornrajavidyalaya) at the top and 'จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย' (Chulalongkornrajavidyalaya University) at the bottom.

PROGRAM SHOW DAILY GENERATING SCHEDULING FOR EACH THERMAL PLANT UNIT
ENTER PLANT NAME : SB
ENTER SAVE FILE NAME (8 charecter) : SBOP1

DAILY SCHEDULING OF POWER GENERATING THERMO PLANT UNIT

POWER (MW)

UNIT NUMBER



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1041.8	1034.6	956.5	854.6	957.3	1170.5	813.3	1309.7	1376.2	1363.8	1365.3	1374.1
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1381.3	1369.2	1371.0	1374.6	1363.4	1367.2	1373.7	1373.5	1372.9	1378.2	1367.0	1180.7

Hr No.		1	2	3	4	5	6
1	P	100.00	100.00	200.00	200.00	200.00	200.00
	λ						
2	P	100.00	100.00	200.00	200.00	200.00	200.00
	λ						
3	P	200.95	277.76	150.00	150.00	159.15	240.32
	λ			015.28	015.28		
4	P	200.95	277.76	150.00	150.00	159.15	240.32
	λ			015.28	015.28		
5	P	200.95	277.76	150.00	150.00	159.15	240.32
	λ			015.28	015.28		
6	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
7	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
8	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
9	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
10	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
11	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
12	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
13	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
14	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1042.8577	1033.2760	856.5403	853.6046	957.4389	1170.9551
ERROR		0.1015	0.0655	0.0047	0.0005	0.0250	0.0309
P = GENERATING POWER (MW)				λ = INCREMENTAL FUEL COST (B/MWhr)			
LIG = LIGNITE		GAS = NATURAL GAS		LU OIL = LOW VISCOSITY OIL		OIL = OIL	

Hr No.		7	8	9	10	11	12
1	P	100.00	126.50	160.00	190.00	225.00	225.00
	λ	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71
2	P	100.00	126.50	160.00	190.00	225.00	225.00
	λ	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71
3	P	201.43	252.00	312.00	372.00	432.00	432.00
	λ	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71
4	P	201.43	252.00	312.00	372.00	432.00	432.00
	λ	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71
5	P	201.43	252.00	312.00	372.00	432.00	432.00
	λ	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71	743.71
6	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
7	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
8	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
9	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
10	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
11	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
12	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
13	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
14	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
TOTAL		813.2780	1309.7563	1376.2531	1363.0414	1368.7441	1376.8601
ERROR		0.1204	0.0043	0.0039	0.0030	0.2523	0.2009
P = GENERATING POWER (MW) λ = INCREMENTAL FUEL COST (¢/MWhr) LIG = LIGNITE GAS = NATURAL GAS LU OIL = LOW VISCOSITY OIL OIL = OIL							

Hr No.		13	14	15	16	17	18
1	P	162.66	156.64	157.24	159.24	153.75	155.70
	λ	825.75	825.20	825.25	825.44	824.04	825.12
2	P	162.66	156.64	157.24	159.24	153.75	155.70
	λ	825.75	825.20	825.25	825.44	824.04	825.12
3	P	352.00	352.00	352.00	352.00	352.00	352.00
	λ	816.70	816.70	-	-	-	-
4	P	352.00	352.00	352.00	352.00	352.00	352.00
	λ	816.70	816.70	-	-	-	-
5	P	352.00	352.00	352.00	352.00	352.00	352.00
	λ	816.70	816.70	-	-	-	-
6	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
7	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
8	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
9	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
10	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
11	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
12	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
13	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
14	P	-	-	-	-	-	-
	λ	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1381.3234	1369.2898	1371.1936	1374.4755	1363.4678	1367.4060
ERROR		0.0017	0.0066	0.0141	0.0055	0.0050	0.0151
P = GENERATING POWER (MW)				λ = INCREMENTAL FUEL COST (B/MWhr)			
LIG = LIGNITE		GAS = NATURAL GAS		LU OIL = LOW VISCOSITY OIL		OIL = OIL	

Hr No	19	20	21	22	23	24
1	P 225.00 λ 158.80	GAS 158.80 825.40	OIL 225.00	LU OIL 225.00	GAS 155.53	OIL 100.00
2	P 225.00 λ 158.80	GAS 158.80 825.40	OIL 225.00	LU OIL 225.00	LU OIL 155.53	OIL 100.00
3	P 352.00 λ 752.00	LU OIL 352.00	GAS 352.00	OIL 352.00	LU OIL 352.00	OIL 315.53
4	P 352.00 λ 752.00	LU OIL 352.00	GAS 352.00	OIL 352.00	LU OIL 352.00	OIL 315.53
5	P 219.42 λ 819.00	OIL 219.42 819.00	LU OIL 219.42	GAS 219.42	OIL 219.42	GAS 219.42 LU OIL 819.00
6	P - λ -	-	-	-	-	-
7	P - λ -	-	-	-	-	-
8	P - λ -	-	-	-	-	-
9	P - λ -	-	-	-	-	-
10	P - λ -	-	-	-	-	-
11	P - λ -	-	-	-	-	-
12	P - λ -	-	-	-	-	-
13	P - λ -	-	-	-	-	-
14	P - λ -	-	-	-	-	-
TOTAL	1373.9246	1373.6003	1374.4272	1379.3352	1367.0593	1183.1035
ERROR	0.0164	0.0073	0.1112	0.0024	0.0043	0.2036
P = GENERATING POWER (MW) λ = INCREMENTAL FUEL COST (B/MWhr) LIG = LIGNITE GAS = NATURAL GAS LU OIL = LOW VISCOSITY OIL OIL = OIL						

บทที่ 10 สรปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบและเปรียบเทียบผลการรันโปรแกรมกับข้อมูลความต้องการทางพลังงานไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนพระนครใต้ ในวันที่ 22 มิถุนายน 2536 จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าให้ประหยัดวิธีการหนึ่ง ก็คือ การเริ่มผลิตไฟฟ้าที่ค่าการผลิตที่ต่ำที่สุด แล้วจึงทำการผลิตเพิ่มจากหน่วยการผลิต ที่มีค่าเพิ่มค่าเชื้อเพลิงต่อ MWhr ที่ต่ำที่สุด (Minimum incremental fuel cost) ซึ่งค่า incremental fuel cost นี้จะขึ้นอยู่กับ อัตราค่าเชื้อเพลิง (Fuel cost) และ อัตราการเพิ่มความร้อน (Incremental heat rate) ของแต่ละหน่วยการผลิตในโรงผลิตไฟฟ้าเดียวกัน หลังจากนั้น จึงเพิ่มกำลังการผลิตแปรผันตามค่าการเพิ่มค่าของเชื้อเพลิงให้มากขึ้นไปตามลำดับ จนได้ค่าผลรวมการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามต้องการ ณที่ค่าการเพิ่มค่าของเชื้อเพลิงไม่เกินค่าสูงสุด (Maximum incremental fuel cost) หรือไม่เกินค่า กำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้า

จากผลการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณหาค่ากำลังผลิตที่แต่ละชั่วโมงนั้น พบว่ามีค่าความผิดพลาดจากการผลิตเกินความเป็นจริงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.0005 ~ 0.3500 ของค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการทำงานของโปรแกรมเป็นการทำงานโดยการเพิ่มค่า lambda (incremental fuel cost) เพื่อนำมาหาค่ากำลังในการผลิตครั้งละ 0.01 B/MWhr. เราพบว่าค่าความผิดพลาดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า lambda สุกท้ายจากการคำนวณอยู่ในช่วงการผลิตจากหน่วยผลิตที่มีคุณลักษณะความชันของกราฟระหว่างค่า lambda กับ ค่ากำลังผลิตมีค่าน้อย ๆ (นั่นคือ ค่า A ตามสมการ $dF/dP = AP+B$ มีค่าน้อยนั่นเอง) ซึ่งเราจะเห็นได้จากตัวอย่างการคำนวณ ในชั่วโมงที่ 11 , 12 และ 24 ค่าความผิดพลาดนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการกำหนดค่าการเพิ่มของ lambda ไปครั้งละน้อย ๆ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสม ในส่วนของเวลาการทำงานของโปรแกรมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ , อาจารย์ นิตน์ กฤษณจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และ คำแนะนำต่างๆ ให้เห็นแนวทางในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ

โครงการนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยเฉพาะ คุณวิโรจน์, คุณนิคม , คุณสุทธิศักดิ์ และ คุณอำนาจ ที่ให้ความกรุณา จัดหาข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (Reference)

1. Y.B.Lee, R.Mitten, K.C.Liu and G.A. Seyfert," The China Light and Power Company Energy Management System", IEEE Trans. on Power System, v.PWS-6, n.1, Feb 1991, pp. 199-205
2. Ken Kato and H.Rod Fudeh , " Performance Simulation of Distributed Engergy Managenent Systems", IEEE Tran. on Power System, v.PWS-7, n.2, May 1992, pp. 820-827
3. Z.Z.Zhang,G.S. Hope and O.P.Malik," Expert System in Electric Power System - A Bibiographical Survey", IEEE Trans. on Power System, v.PWS-4, n.4, Octobet 1989, pp.1355-1361
4. Susan Makhtari, Jagjit Singh and Bruce Wollenberg, " A Unit Commitment Expert System", IEEE Trans. on Power System, v. PWS-3, n.1, February 1988, pp.272-276
5. C.K. Pang and H.C. Chen," Optimal Short - Term Thermal Unit Commitment", IEEE Trans.on PAS , v.95, n.4, July / August 1976 ,pp.1336 - 1346
6. TYler G. Hicks.,P.F., "Power Plant Evaluation and Design Reference Guide", The McGraw-Hill Engineering Refernce Guide Series.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้