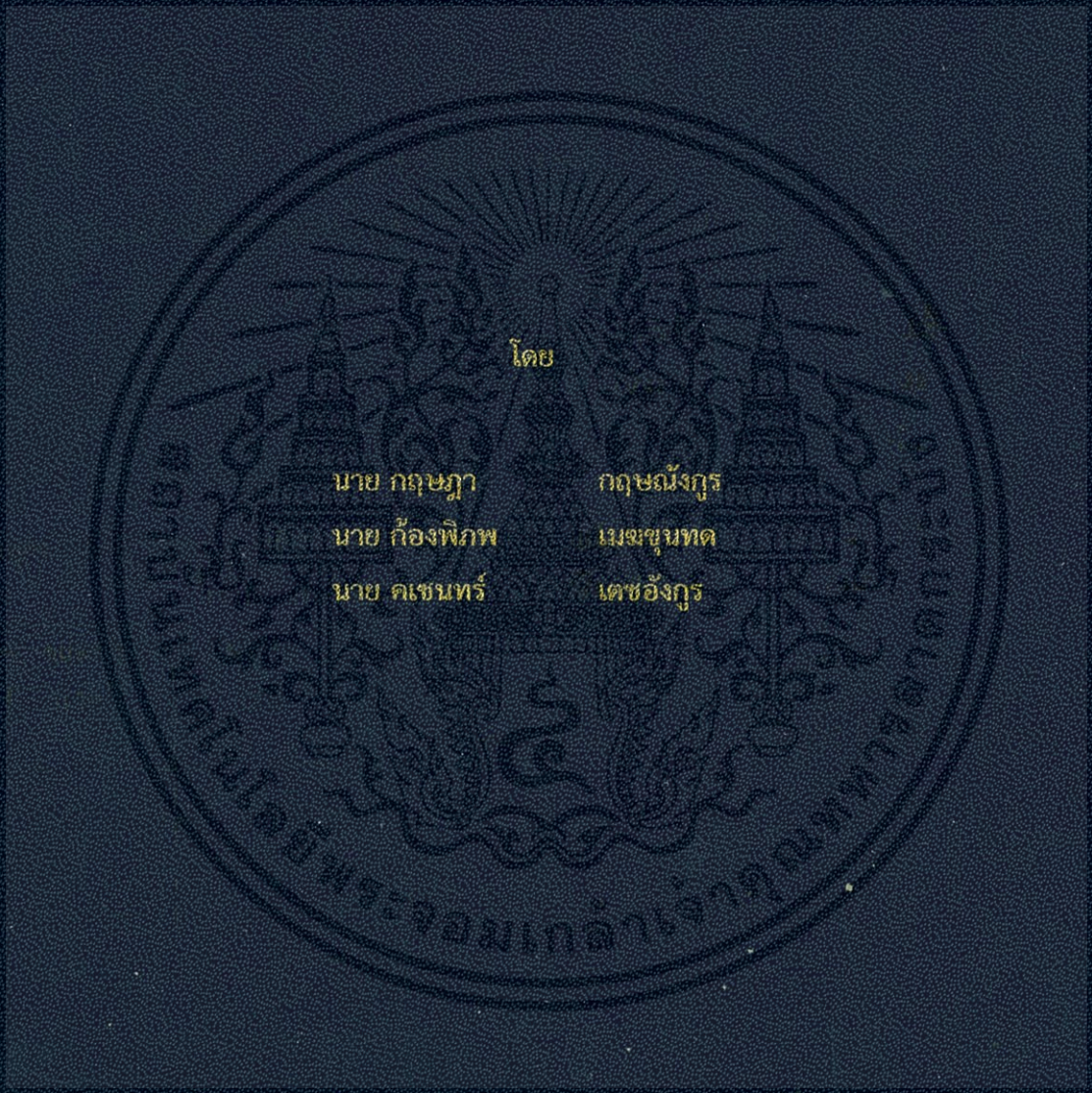
การพัฒนาโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุน
สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร
DEVELOPMENT OF PAYBACK PERIOD CACULATION SOFTWARE FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM



โดย

นาย กฤษฎา กฤษณังกูร
นาย ก้องพิภพ เมฆขุนทด
นาย คเชนทร์ เตชอังกูร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุน
สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร
DEVELOPMENT OF PAYBACK PERIOD CACULATION SOFTWARE FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

โดย

นาย กฤษฎา กฤษณังกูร
นาย ก้องพิภพ เมฆขุนทด
นาย คเชนทร์ เตชอังกูร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PAYBACK PERIOD CACULATION SOFTWARE FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

KRISADA KRISANANGKUR
KONGPIPOP MAEKKUNTOD
KACHEN TECHA-UNGKUL

A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุน สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

DEVELOPMENT OF PAYBACK PERIOD CACULATION SOFTWARE FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

โดย

นาย กฤษฎา กฤษณังกูร
นาย ก้องพิภพ เมฆขุนทด
นาย คเชนทร์ เตชอังกูร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วรกัลป์ ลิ้มเจริญ
ผศ. ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤษฎา กฤษณังกูร
2. นาย ก้องพิภพ เมฆขุนทด
3. นาย คเชนทร์ เตชอังกูร

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ วรกัลป์ ลิ้มเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุน สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

นาย กฤษฎา กฤษณังกูร
นาย ก้องพิภพ เมฆขุนทด
นาย คเชนทร์ เตชอังกูร
อ. วรกัลป์ ลิ้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงงานนี้พัฒนาโปรแกรมทางอนุรักษ์พลังงานเพื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนการประหยัดพลังงานและผลประหยัดที่ได้จากมาตรการที่เลือก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นออกแบบโดยโปรแกรม Visual Basic 2010 สามารถประยุกต์เพื่อหาผลประโยชน์จากมาตรการและช่วยวิศวกรที่รับผิดชอบตัดสินใจและใช้มาตรการที่สนใจเหล่านั้น ผลของโปรแกรมที่พัฒนาจะถูกตรวจสอบโดยการทดลอง จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานในการประเมินผลประโยชน์ของมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PAYBACK PERIOD CACULATION SOFTWARE FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

Mr. Krisada	Krisanangkur	
Mr. Kongpipop	Maekkuntod	
Mr. Kachen	Techa-ungkul	
Mr. Worrakan	Limcharoen	Advisor
Asst.Prof.Dr.Somyot	Kaitwanidvilai	Co-Advisor

2012

ABSTRACT

This project develops an energy conservation software to calculate the payback period, energy saving and cost saving in selected measures. The developed program is designed by the Visual Basic 2010 and can be applied to evaluate the benefits of the measure. In addition, this software can help the responsible engineer to decide and apply the interesting measure. The results of the developed program are verified by experiments. As results indicated, the proposal software is effectively used for evaluating the benefits of any measures in energy conservation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการชี้แนะคำปรึกษาและความสนับสนุนจากบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและเป็นเกียรติอย่างยิ่งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และ อาจารย์วรกัลป์ ลิ้มเจริญ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านที่ได้คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ

ขอขอบพระคุณพี่ๆ จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้สามารถวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ
นาย กฤษฎา กฤษณังกูร
นาย ก้องพิภพ เมฆขุนทด
นาย คเชนทร์ เตชอังกูร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การอนุรักษ์พลังงาน	5
2.2 มาตรการอนุรักษ์พลังงงาน	5
2.2.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	5
2.2.2 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการลดการใช้หม้อแปลง	15
2.2.3 มาตรการปรับลดแรงดันที่ปลายสาย โดยการแทปหม้อแปลง	19
2.2.4 มาตรการปรับความเร็วรอบปั๊มน้ำด้วย VSD	20
2.2.5 มาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ	21
2.2.6 มาตรการเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	22
2.2.7 มาตรการการลดขนาดใบพัดของพัดลม	24
2.2.8 มาตรการปรับปรุงชิลเลอร์	26
2.2.9 มาตรการปรับปรุงการเผาไหม้	26
2.2.10 มาตรการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์	27
2.3 โปรแกรมวิชวลเบสิก	29
บทที่ 3 การใช้งานโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร	32
3.1 วิธีการใช้งานโปรแกรม	32
3.1.1 มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	33
3.1.2 มาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย	36
3.1.3 มาตรการลดการใช้หม้อแปลง	38
3.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษา	40
3.2.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษามาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับ
กรณีศึกษามาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย 43
3.2.3 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับ
กรณีศึกษามาตรการมาตรการลดการใช้หม้อแปลง 45
3.3 โปรแกรมการเรียนรู้ภาคทฤษฎี (Theoretical Learning) 47
3.3.1 การทดลองเรื่องการค่าปรับตัวประกอบกำลัง 47
3.3.2 การทดลองเรื่องการ tie หม้อแปลง 50
บทที่ 4 การทดลองและการทดสอบ 54
4.1 การออกแบบชุดทดลองการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 54
4.1.1 การทดลองปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 58
4.1.2 สรุปผลการทดลอง 62
4.2 การออกแบบชุดทดลองการลดการใช้หม้อแปลง 62
4.2.1 การทดลองการลดการใช้หม้อแปลง 62
4.2.2 สรุปผลการทดลอง 70
บทที่ 5 บทสรุปและข้อแนะนำ 71
5.1 บทสรุป 71
5.2 ข้อแนะนำ 71
เอกสารอ้างอิง 72
ภาคผนวก 73
ภาคผนวก ก 74
ภาคผนวก ข 87
ประวัติผู้เขียน 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	6
2.2 แผนภาพเวคเตอร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน 3 ชนิด ในระบบไฟฟ้ากำลัง	7
2.3 ตัวควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติและอุปกรณ์ตัดต่อชุดตัวเก็บประจุ	10
2.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	11
2.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	11
2.6 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง	12
2.7 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด	12
2.8 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	16
2.9 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง	16
2.10 ลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง	17
2.11 ผลจากการใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กลง	21
2.12 ก)การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับพิกัดมอเตอร์ ข)การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานมอเตอร์	24
2.13 กราฟอัตราการไหล กับ กำลังแรงม้า ซึ่งเปรียบเทียบเมื่อขนาดของ ใบพัดของพัดลมเปลี่ยนไป	25
2.14 โครงสร้างทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์	28
2.15 แผนผังแสดงส่วนทำงานหน้าที่ต่างๆของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	28
2.16 ตัวอย่างภาพอุปกรณ์ภายในกล่องบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	29
2.17 หน้าต่างพื้นฐานของโปรแกรมวิชวลเบสิก	30
2.18 หน้าต่างพร้อมอุปกรณ์และเครื่องมือพื้นฐานของโปรแกรมวิชวลเบสิก	31
3.1 หน้าต่างเมื่อทำการเปิดโปรแกรม	32
3.2 หน้าต่างโปรแกรมคำนวณเมื่อทำการใส่ Username และ Password แล้ว	32
3.3 หน้าต่างโปรแกรมเรียนรู้ภาคทฤษฎีเมื่อทำการใส่ Username และ Password แล้ว	33
3.4 หน้าต่างเมื่อทำการคลิกที่คอนโทรน CommandButton มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	33
3.5 กรณีกรอกข้อมูลไม่ครบมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	34
3.6 กรณีกรอกข้อมูลครบมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	34
3.7 การคำนวณด้านการลงทุนมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	35
3.8 หน้าต่างโปรแกรมมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย	36
3.9 กรณีกรอกข้อมูลไม่ครบมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย	37
3.10 กรณีกรอกข้อมูลครบมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย	37
3.11 การคำนวณด้านการลงทุนมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย	38
3.12 หน้าต่างโปรแกรมมาตรการลดการใช้หม้อแปลง	38
3.13 กรณีกรอกข้อมูลไม่ครบมาตรการลดการใช้หม้อแปลง	39
3.14 กรณีกรอกข้อมูลครบมาตรการลดการใช้หม้อแปลง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 การคำนวณด้านการลงทุนมาตรการลดการใช้หม้อแปลง 40
3.16 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับปรุง
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (MDB1) 43
3.17 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับปรุง
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (MDB2) 43
3.18 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย 44
3.19 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการมาตรการลดการใช้หม้อแปลง 46
3.20 หน้าต่างใช้งานการทดลองเรื่องการปรับค่าตัวประกอบกำลัง 47
3.21 หน้าต่างใช้งานเมื่อนำเมาส์ไปชี้อุปกรณ์ 47
3.22 หน้าต่างทฤษฎีการทดลอง 48
3.23 หน้าต่างวิธีการทดลอง 48
3.24 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มเริ่มการทดลอง 49
3.25 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มปรับค่า pf = 0.5 49
3.26 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มปรับค่า pf = 0.85 50
3.27 หน้าต่างใช้งานการทดลองเรื่องการ tie หม้อแปลง 50
3.28 หน้าต่างใช้งานเมื่อนำเมาส์ไปชี้อุปกรณ์ 51
3.29 หน้าต่างทฤษฎีการทดลอง 51
3.30 หน้าต่างวิธีการทดลอง 52
3.31 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มเริ่มการทดลอง 52
3.32 หน้าต่างเมื่อกดปุ่ม Tie Load 53
4.1 โหลดมอเตอร์ 1 เฟส 54
4.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากมอเตอร์ 1 เฟส 54
4.3 ใช้โปรแกรมคำนวณหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุ
ที่ใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.50 55
4.4 ใช้โปรแกรมคำนวณหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุ
ที่ใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.85 55
4.5 วงจรที่ยังไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ 58
4.6 วงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ 58
4.7 การทดลองต่อวงจรที่ไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ 60
4.8 การทดลองต่อวงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ 60
4.9 ผลการทดลองที่วัดได้ขณะไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ 61
4.10 ผลการทดลองที่วัดได้ขณะมีการต่อตัวเก็บประจุ 18 ไมโครฟารัด 61
4.11 ผลการทดลองที่วัดได้ขณะมีการต่อตัวเก็บประจุ 27 ไมโครฟารัด 62
4.12 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ 62
4.13 วงจรเมื่อทาการสับสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 63
4.14 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 63
4.15 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 64
4.16 โปรแกรมคำนวณผลประหยัดมาตรการลดการใช้หม้อแปลงจากข้อมูลการทดลอง 68

เอกสารนี้เป็น[illegible]ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17 โปรแกรมคำนวณผลประหยัดมาตรการลดการใช้หม้อแปลงจากข้อมูลการทดลอง 69
4.18 วงจรที่ต่อดังรูป 4.12 69
ก – 1 วงจรสมมูลของการต่อตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและ
รูปสามเหลี่ยมประกอบกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อตัวเก็บประจุ 74
ก – 2 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง 75
ก – 3 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด 75
ก – 4 วงจรที่ยังไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ 77
ก – 5 วงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ 77
ก – 6 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า 80
ก – 7 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง 80
ก – 8 ลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง 81
ก – 9 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ 82
ก – 10 วงจรเมื่อทำการสับสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 82
ก – 11 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 83
ก – 12 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมการใช้งานที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ (กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kW)	8
2.3 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ (กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kVA)	9
2.4 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 กิโลโวลต์	18
2.5 การเลือกขนาดหม้อแปลง 2 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด	19
2.6 การเลือกขนาดหม้อแปลง 3 ตัว หรือ 4 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด	19
4.1 ผลการทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	59
4.2 ผลการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลงกรณีใช้หม้อแปลง 2 ตัวจ่ายโหลด	65
4.3 ผลการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลงกรณีใช้หม้อแปลง 1 ตัวจ่ายโหลด	66
ก – 1 ตารางบันทึกผลการทดลองการปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	78
ก – 2 ตารางบันทึกผลการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลง กรณีใช้หม้อแปลง 2 ตัวจ่าย Load แต่ละชุดแยกกัน	84
ก – 3 ตารางบักทึกการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลง กรณีใช้หม้อแปลง 2 ตัวจ่าย Load แต่ละชุดแยกกัน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเป็นอย่างมาก แต่ประเทศไทยมิได้มีแหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์ภายในประเทศมากพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทุกภาคส่วนต้องตระหนักถึงความสำคัญที่เกิดขึ้นและเมื่อพิจารณาถึงแหล่งพลังงานหลักที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในปัจจุบัน เช่น พลังงานเคมี พลังงานนิวเคลียร์ พลังน้ำ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากทะเลซึ่งจะเห็นได้ว่าแหล่งพลังงานเคมีและพลังงานนิวเคลียร์ เป็นแหล่งพลังงานที่เมื่อมีการใช้แล้วจะหมดสิ้นไปในที่สุด พลังงานในกลุ่มนี้จึงเรียกว่า “พลังงานสิ้นเปลือง” ส่วนพลังงานน้ำ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากทะเลเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ไปแล้วยังสามารถผลิตขึ้นมาใช้ใหม่ได้อีกจึงเรียกว่า “พลังงานหมุนเวียน” ส่วนคำว่า “พลังงานทดแทน” หมายถึง แหล่งพลังงานที่นำมาใช้แทนพลังงานสิ้นเปลือง ซึ่งมีแนวโน้มที่ราคาจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆและคาดว่าจะหมดไปในระยะเวลาอันสั้นหากยังคงมีการใช้กันอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานยังมีข้อจำกัดและมีปัญหาอยู่มาก เช่น พลังงานนิวเคลียร์ แม้ว่าจะมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจแต่ก็มีปัญหาในเรื่องการจัดการและการยอมรับจากประชาชน เนื่องจากกากนิวเคลียร์มีอันตรายมากและคนในปัจจุบันก็ยังมีความคิดเกี่ยวกับความไม่ปลอดภัยที่จะเกิดจากปฏิกิริยาการระเบิดของพลังงานนิวเคลียร์ และเมื่อลองจินตนาการถึงอนาคต หากขาดพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโลกคงอยู่ในความมืด การติดต่อสื่อสาร การเดินทางไปมา ความสะดวกสบายคงขาดหายไปเกือบหมดขณะที่พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ยังอยู่ในช่วงของการพัฒนาให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

จึงกล่าวได้ว่าแนวทางการแก้ปัญหาพลังงานที่สำคัญ คือ การอนุรักษ์พลังงานที่เหลืออยู่พร้อมๆไปกับการพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆให้มีต้นทุนการผลิตต่ำและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนโดยใช้โปรแกรม Visual Basic
2. สามารถออกแบบการทดลองและเปรียบเทียบผลตรงกับทางทฤษฎี
3. สามารถคำนวณเงินที่ประหยัดได้และระยะเวลาคืนทุน
4. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร
5. สร้างชุดทดลองเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตการศึกษาและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร
2. สามารถออกแบบโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณเกี่ยวกับการวิเคราะห์การลงทุนและระยะเวลาคืนทุน
3. สามารถออกแบบชุดทดลองเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียดที่เกี่ยวกับการดำเนินงาน	เดือน									
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
ศึกษามาตรการต่างๆที่ใช้อนุรักษ์พลังงานในอาคาร	←	—	—	→						
ศึกษาวิธีการออกแบบโปรแกรม Visual Basic, Macromedia Flash, Solidwork			←	—	→					
เขียนโปรแกรม Visual Basic ที่สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุน				←	—	→				
ออกแบบและจำลองการทดลองการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้โปรแกรม Solidwork, Macromedia Flash				←	—	—	→			
ทดลองเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า					←	—	—	—	→	
สรุปและประเมินผล								←	—	→
จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์									←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. นำความรู้ที่ได้จากการเรียนมาประยุกต์ใช้
2. มีความรู้เกี่ยวกับมาตรการต่างๆในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร
3. สามารถนำโปรแกรมมาช่วยในการตัดสินใจในการคำนวณระยะเวลาคืนทุน
4. สร้างแลปการทดลองเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอนุรักษ์พลังงาน

มีผู้คนจำนวนมากที่เข้าใจความหมายของคำว่าอนุรักษ์พลังงานว่าคือการประหยัด (Saving) แต่ความหมายที่แท้จริงนั้น คำว่าอนุรักษ์พลังงาน หมายถึง การใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความหมายที่กว้างขวางและครอบคลุมกว่าคำว่าประหยัดแต่เพียงเท่านั้น หากพิจารณาเฉพาะแง่มุมด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยแล้วสามารถอธิบายคำว่าอนุรักษ์พลังงานให้เห็นภาพได้อย่างแจ่มชัดได้จากนิยามของคำว่า "หน่วยไฟฟ้า" หรือ Unit ที่ในทางเทคนิคมีที่มาจากหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้

kWh = kW x h ⟶ ความหมาย = กิโลวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า x ชั่วโมงที่เปิดใช้งาน

การใช้พลังงานอย่างประหยัด

- ใช้เท่าที่จำเป็น
- ลดชั่วโมงการเปิดอุปกรณ์
- ขึ้นอยู่กับจิตสำนึกผู้ใช้ และรณรงค์ให้เกิดยอมมีส่วนร่วม

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

- ใช้อุปกรณ์ที่ต้องการกำลังน้อยกว่า ที่ความสามารถเท่ากัน
- ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง
- บำรุงรักษาอุปกรณ์สม่ำเสมอ

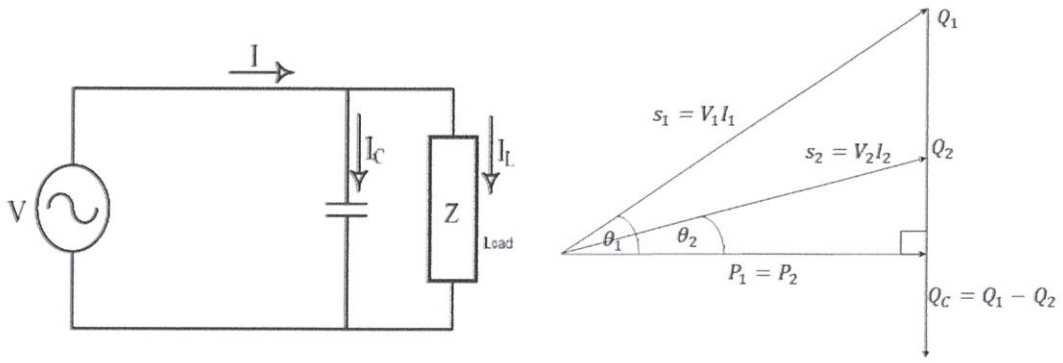
2.2 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

2.2.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction)

คำว่าการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังเสมือนเพื่อให้กำลังปรากฏมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังจริงเนื่องจากในทางปฏิบัตินั้น โหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็นตัวต้านทานผสมตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้กระแสล้าหลังแรงดัน ดังนั้นกำลังเสมือนในระบบที่พบจึงมักจะเป็นกำลังเสมือนของตัวเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัยอาคารและโรงงานต่างก็ใช้กำลังเสมือนของตัวเหนี่ยวนำแทบทั้งนั้นทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำการไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำโดยเก็บเงินกับกรณีกำลังเสมือนของตัวเหนี่ยวนำ(ชนิดล้าหลัง)เท่านั้น

ดังนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ตัวเก็บประจุขนานกับโหลดหรือขนานกับแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 2.1 เพื่อให้กำลังเสมือนของตัวเหนี่ยวนำหักล้างกับกำลังเสมือนของตัวเก็บประจุแล้วเป็นผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏลดลงจากรูปเมื่อใส่ กำลังไฟฟ้าเสมือนของตัวเก็บประจุ เพื่อหักล้างกับกำลังเสมือนของตัวเหนี่ยวนำทำให้กำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบลดลงแล้วกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบจะลดลงเป็นผลให้กระแสลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การต่อตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ที่มา : คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน (TEENET) http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html)

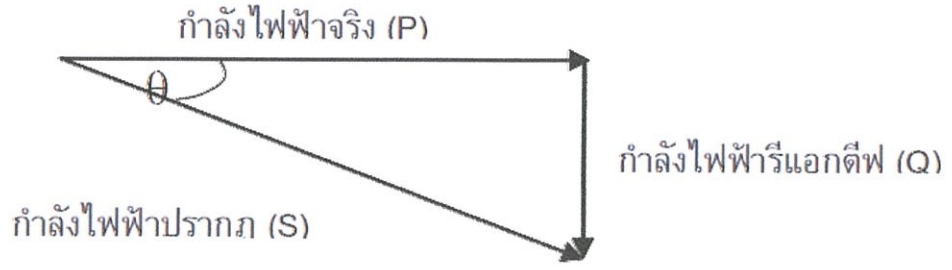
ข้อสังเกต จากรูปถ้าต่อตัวเก็บประจุขนานกับภาระทางไฟฟ้ากระแสก็จะลดต่ำลงตั้งแต่ตำแหน่งจุดที่ต่อนั้นไปจนถึงแหล่งจ่ายทั้งนี้ภาระทางไฟฟ้ายังคงใช้กำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนเท่าเดิมทุกประการ เพราะแรงดันที่ภาระได้รับถือว่าไม่ได้เปลี่ยนไป จึงกินไฟเท่าเดิมแต่การที่กระแสในสายจากแหล่งจ่ายลดลง เป็นเพราะกระแสที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุมีทิศทางของเวคเตอร์หักล้างกับกระแสที่ไหลเข้าโหลด ทำให้ผลรวมทางเวคเตอร์ของกระแสของตัวเก็บประจุและกระแสของตัวเหนี่ยวนำมีขนาดลดลงหรือจะมองว่าเพราะต่อตัวเก็บประจุเข้าระบบแล้วทำให้กำลังไฟฟ้าปรากฏลดลงก็ได้ (S = VI และถือว่าแรงดันคงที่) จึงทำให้กระแสลดลงด้วยจากแผนภาพนี้ หากนำตัวเก็บประจุไปต่อขนานกับแหล่งจ่าย กระแสก็จะลดต่ำลงเฉพาะตำแหน่งที่แหล่งจ่ายเท่านั้นซึ่งหมายความว่า บัสบาร์กับหม้อแปลงมีกระแสไหลน้อยลงแต่ในสายไฟที่เดินไปยังโหลด กระแสยังคงมากอยู่แต่การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อตัวเก็บประจุขนานกับแหล่งจ่ายนี้เป็นวิธีที่สะดวกและไม่ยุ่งยากจึงเป็นวิธีที่นิยมทำกัน

ตารางที่ 2.1 สมการใช้งานที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณ	ระบบไฟฟ้า 1 เฟส	ระบบไฟฟ้า 3 เฟส
P	$P = V \times I \times Cos\theta$	$P_{3\emptyset} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times Cos\theta$
Q	$Q = V \times I \times Sin\theta$	$Q_{3\emptyset} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times Sin\theta$
S	$S = V \times I$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S_{3\emptyset} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$ $S_{3\emptyset} = \sqrt{P_{3\emptyset}^2 + Q_{3\emptyset}^2}$
$Cos\ \theta(PF)$	$\frac{P}{S}$	$\frac{P_{3\emptyset}}{S_{3\emptyset}}$

โดย P คือ กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power)
S คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power)
Q คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีพ (Reactive Power)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภาพเวคเตอร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน 3 ชนิด ในระบบไฟฟ้ากำลัง
(ที่มา : ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.)สามัญ)

จากแผนภาพเวคเตอร์ ซึ่งมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (cosθ) แสดงได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานคือกำลังไฟฟ้าจริง (kW) กำลังไฟฟ้าสูญเสียคือกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (kVAr) แต่กำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ทั้งหมดคือกำลังไฟฟ้าปรากฏดังนั้นถ้าลดมุม θ ให้เล็กลงได้มากเท่าไรก็จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟลดลงได้มากเท่านั้น ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นและจำนวนกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ต้องการก็จะลดลงมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริงสาเหตุที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำลงเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้ามีลักษณะเกิดขึ้นล้าหลังแรงดันไฟฟ้า (Lag) หรือกระแสไฟฟ้าเกิดก่อนแรงดันไฟฟ้า (Lead) โดยทั่วไปในโรงงานกระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าเพราะว่าโหลดส่วนใหญ่เป็นโหลดแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Load) หรืออุปกรณ์ที่มีขดลวดไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าล้าหลังแรงดันไฟฟ้า สภาวะเช่นนี้เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลัง (Lagging Power Factor) ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นโหลดแบบเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor Load) เช่น ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) จะทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดก่อนแรงดันไฟฟ้า สภาวะเช่นนี้เรียกว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้ำหน้า (Leading Power Factor)

1) การเลือกใช้ขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

การใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อเข้าไปในระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะช่วยแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดให้สูงขึ้นแล้ว ยังช่วยทำให้แรงดันไฟฟ้าดีขึ้น เพราะตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้แก่ระบบไฟฟ้า ทั้งยังมีประโยชน์อื่น เช่น ช่วยป้องกันการจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากหม้อแปลงไฟฟ้าเกินกำลัง ช่วยลดความสูญในระบบไฟฟ้า ช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่เกณฑ์ที่เหมาะสมและไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเพื่อที่จะให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เหมาะสมก็จะต้องติดตั้งเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่มีขนาดเก็บประจุที่เหมาะสม ขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ดูจากตารางที่ 2.2 และ 2.3 โดยหาค่าสัมประสิทธิ์ได้จากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก่อนปรับปรุงกับค่าประกอบกำลังไฟฟ้าหลังจากปรับปรุงแล้ว (หรือค่าที่ต้องการ) จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์นี้คูณกับค่าโหลดแล้วคำนวณหาขนาดเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่ต้องการได้

ตัวอย่าง ต้องการหาขนาดของตัวเก็บประจุที่จะปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดขนาด 100 กิโลวัตต์ จากเดิม 0.7 ให้เป็น 0.95 จากตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์จาก 0.7 ให้เป็น 0.95 มีค่าเท่ากับ 0.69 ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุจะเท่ากับ 0.69x100 กิโลวัตต์ = 69 กิโลวาร์

ตารางที่ 2.2 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ (กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kW)

Power Factor ในตอนแรก (%)	Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
40	2.29	1.96	1.81	1.67
42	2.16	1.83	1.68	1.54
44	2.04	1.71	1.56	1.42
46	1.93	1.60	1.44	1.31
48	1.83	1.50	1.34	1.21
50	1.73	1.40	1.25	1.11
52	1.64	1.31	1.16	1.02
54	1.56	1.23	1.07	0.94
56	1.48	1.15	0.99	0.86
58	1.40	1.08	0.92	0.78
60	1.33	1.00	0.85	0.71
62	1.27	0.94	0.78	0.65
64	1.20	0.87	0.72	0.52
66	1.14	0.81	0.65	0.52
68	1.08	0.75	0.59	0.46
70	1.02	0.69	0.54	0.40
72	0.96	0.64	0.48	0.34
74	0.91	0.58	0.42	0.29
76	0.86	0.53	0.37	0.24
78	0.80	0.47	0.32	0.18
80	0.75	0.42	0.27	0.13
82	0.70	0.37	0.21	0.08
84	0.65	0.32	0.16	0.03
86	0.59	0.27	0.11	-
88	0.54	0.21	0.06	-
90	0.48	0.16	-	-
92	0.43	0.10	-	-
94	0.36	0.03	-	-
96	0.29	-	-	-
98	0.20	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ (กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kVA)

Power Factor ในตอนแรก (%)	Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
40	0.92	0.79	0.72	0.67
42	0.91	0.77	0.72	0.67
44	0.90	0.75	0.69	0.63
46	0.89	0.74	0.67	0.60
48	0.88	0.72	0.65	0.58
50	0.87	0.70	0.62	0.56
52	0.85	0.68	0.60	0.53
54	0.84	0.66	0.58	0.51
56	0.83	0.64	0.56	0.48
58	0.82	0.62	0.53	0.46
60	0.80	0.60	0.51	0.43
62	0.79	0.58	0.49	0.40
64	0.77	0.56	0.46	0.37
66	0.75	0.54	0.43	0.34
68	0.73	0.51	0.40	0.31
70	0.71	0.49	0.38	0.28
72	0.69	0.46	0.35	0.25
74	0.68	0.43	0.32	0.22
76	0.65	0.40	0.28	0.18
78	0.63	0.37	0.25	0.14
80	0.60	0.34	0.21	0.10
82	0.57	0.30	0.18	0.07
84	0.54	0.27	0.14	0.03
86	0.51	0.23	0.10	-
88	0.48	0.19	0.05	-
90	0.44	0.14	-	-
92	0.39	0.09	-	-
94	0.34	0.03	-	-
96	0.28	-	-	-
98	0.20	-	-	-

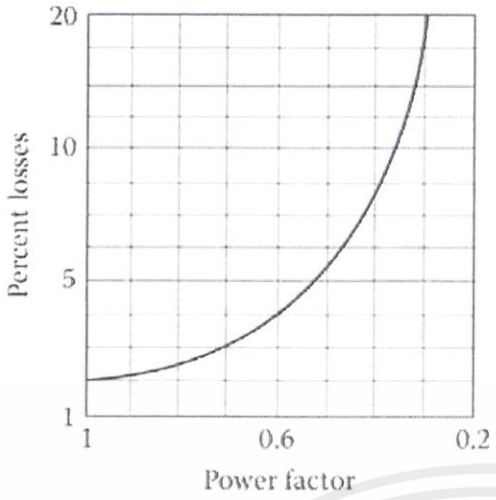
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทราบขนาดของกำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้ในระบบ ก็จะหาค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟของตัวเก็บประจุได้โดยง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ขนาดกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟของตัวเก็บประจุ อาจไม่ได้มีจำหน่ายในท้องตลาดหลายขนาดนัก ดังนั้น อาจต้องใช้ตัวเก็บประจุหลายๆตัวต่อขนานกันเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ รวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ (การต่อตัวเก็บประจุขนานกัน นำค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟบวกกันได้เลย) จึงเรียกชุดของตัวเก็บประจุหลายๆตัวที่ติดตั้งไว้สำหรับการต่อเข้าระบบนี้ว่า คาปาซิเตอร์แบง (Capacitor Bank) และเนื่องจากในทางปฏิบัติพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวันไม่คงที่ ดังนั้น การที่คาปาซิเตอร์แบงประกอบด้วยตัวเก็บประจุหลายๆตัว จึงเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งที่ สามารถต่อตัวเก็บประจุเข้าระบบได้มากน้อยตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอนได้ ในการนี้ จำเป็นต้องมีตัวควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ (Power Factor Controller หรือ PF Controller) คอยควบคุมการตัดต่อตัวเก็บประจุเข้าระบบ เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงอยู่เสมอ ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ตัวควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติและอุปกรณ์ตัดต่อชุดตัวเก็บประจุ
(ที่มา : การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากองทุนส่งเสริมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ)

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลงได้ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4 โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียยังขึ้นอยู่กับความต้านทานในสายและความยาวของสายอีกด้วยส่วนรูปที่ 2.5 แสดงค่า % การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปสู่ค่าต่างๆ

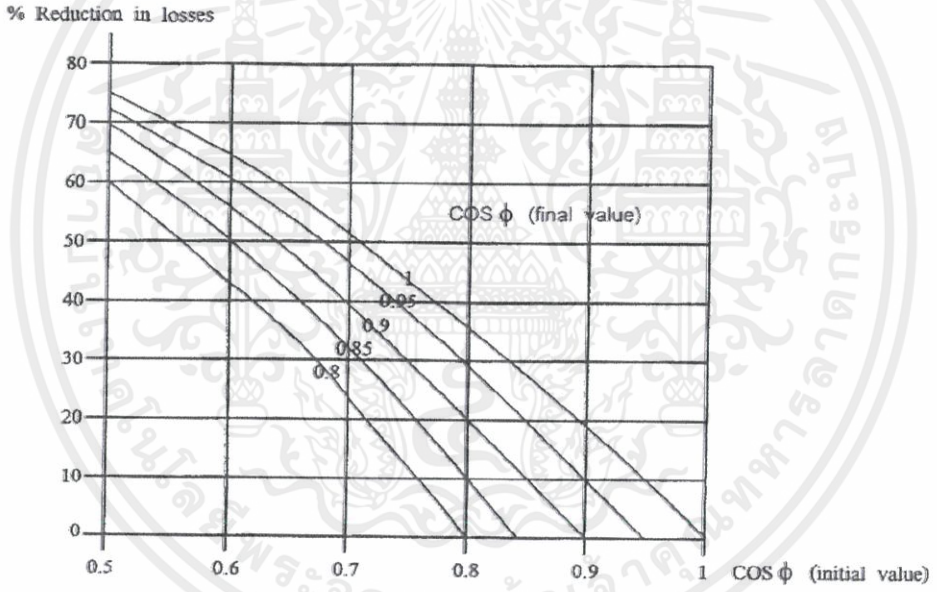
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$kW\ losses \propto \left(\frac{Original\ PF}{Improved\ PF}\right)^2$$

$$Loss\ reduction = 1 - \left(\frac{Original\ PF}{Improved\ PF}\right)^2$$

รูปที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
(ที่มา : การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากองทุนส่งเสริมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ)



รูปที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปเป็นค่าต่างๆ
(ที่มา : การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากองทุนส่งเสริมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ)

ระบบไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก ดังนั้น การแก้ให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น จะทำให้ค่าไฟฟ้าลดลง แต่การแก้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม จึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วย โดยพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆจะมีค่าตัวประกอบ

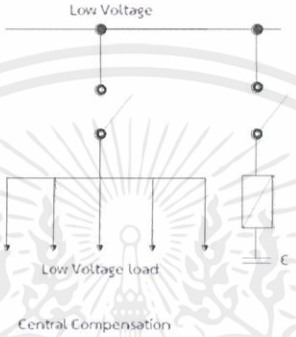
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันแล้วแต่โครงสร้างภายในของอุปกรณ์นั้นๆ จึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป

2) การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง CAPACITOR BANK)

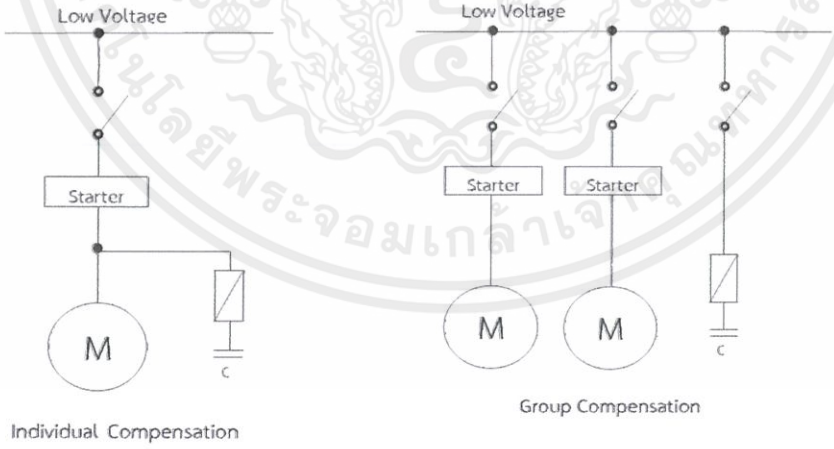
ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกัน ทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่ หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร โดยแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว (Central Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของโรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง(ที่มา : คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน (TEENET) http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html)

การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อยหรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว (Individual Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและจุดของโรงงานหรืออาคาร ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด (ที่มา : คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน (TEENET) http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งเป็นกลุ่มหรือเฉพาะตัวนี้จะต้องพิจารณาจุดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ด้วย เพราะประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะทางจุดที่ทำการติดตั้งมายังตัวโหลดหรือมอเตอร์ ประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าการตัดสินใจเลือกวิธีติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าวิธีหนึ่งวิธีใดมาใช้เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่โรงงานหรืออาคารใดจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เช่น พิจารณาถึงลักษณะของโรงงาน ลักษณะโหลดส่วนใหญ่ที่ใช้ ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเงินลงทุน ซึ่งต้องการศึกษาอย่างละเอียดว่าวิธีใดจะมีโอกาสคุ้มทุนมากกว่ากันในโรงงาอุตสาหกรรมและอาคารส่วนใหญ่แล้ว จะประกอบด้วยโหลดที่มีขนาดเล็กๆ จำนวนมาก แต่ด้วยเหตุที่พิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีขนาดเป็นมาตรฐาน (Standard Size) ในทางปฏิบัติจะหาตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสอดคล้องกับโหลดแต่ละรายการได้ยากและโดยทั่วไปแล้วโหลดต่างๆเหล่านี้ก็ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน เหตุนี้ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงจุดเดียว ณ ตำแหน่งซึ่งเป็นจุดรวมของโหลดทั้งหมดซึ่งกรณีเช่นนี้จะต้องมีสวิตช์หรือต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับโหลดทั้งหมดหรือบางส่วน ตามสภาวะของโหลดได้โดยอัตโนมัติตัวอย่างเช่น ถ้าหากมอเตอร์เพียง 50% ของมอเตอร์โหลดทั้งหมดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงครึ่งหนึ่งในจุดนั้นเท่านั้นที่จะถูกต่อเข้าวงจรโหลดอีกครึ่งหนึ่งจะถูกตัดออก แต่ถ้าไม่มีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยอัตโนมัติและโหลดทำงานไม่พร้อมกันแล้วก็ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานเข้ากับโหลดแต่ละตัวโดยปกติแล้วแม้ไม่มีโหลด หม้อแปลงไฟฟ้าก็ยังต้องสร้างสนามแม่เหล็กที่เป็นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟอยู่ดังนั้น การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อลดกำลังรีแอคทีฟในช่วงไม่มีโหลด โดยต่อตรงเข้าทางด้านแรงดัน หรือด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างถาวรไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบอีกด้วย ซึ่งการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเป็นแบบผสม กล่าวคือ โหลดใหญ่ๆ จะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่โหลดแต่ละชุด ส่วนโหลดอื่นๆ จะติดตั้งแบบกลุ่มหรือแบบศูนย์กลาง ส่วนตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเพียงการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น

ดังนั้นหากมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมก็ย่อมที่จะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้อันหมายถึงว่าจะสามารถลดค่าไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นลงได้นั่นเอง

3) ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) ให้เหมาะสม

- ลดรายจ่ายค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์จากการไฟฟ้าฯ

เนื่องจากกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Q) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นเองได้ โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้ให้กับโหลด ซึ่งหากผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ได้ติดตั้งคาปาซิเตอร์ การไฟฟ้าฯจะต้องเป็นคนจ่ายกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้เองในขณะที่กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ไม่สามารถสร้างจากคาปาซิเตอร์ได้ กำลังไฟฟ้าส่วนนี้จะได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ เท่านั้น

ดังนั้นการที่ระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำแสดงว่าการไฟฟ้าฯจะต้องรับภาระในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเป็นจำนวนมาก ซึ่งที่จริงแล้วผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถสร้างได้เอง โดยการใช้คาปาซิเตอร์ผลที่ตามมาก็ คือ การไฟฟ้าจะต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งต้องใช้ทรัพยากรมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้า ทั้งในส่วนของการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าจึงได้ออกกฎมาเพื่อควบคุม

เอกสารนี้เป็น[illegible]ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ของโรงงานต่างๆโดยกำหนดว่า หากโรงงานใดมีค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ต่ำกว่า 0.85 จะต้องเสียค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ (ขึ้นอยู่กับรุ่นของมิเตอร์ของการไฟฟ้าด้วย มิเตอร์บางรุ่นไม่สามารถวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ได้)

- ช่วยลดโหลดของหม้อแปลง

เมื่อใช้โหลดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆกับหม้อแปลงตัวเดิมและหม้อแปลงเริ่มมีขนาดไม่พอกับความต้องการ หม้อแปลงต้องจ่ายกระแสเกินพิกัด (Overload) วิธีโดยทั่วไปที่นึกถึงกันคือ การติดตั้งหม้อแปลงเพิ่มอีกหนึ่งตัว คนส่วนใหญ่ลืมที่จะหยุดคิดว่า "ได้ติดตั้งตัวเก็บประจุแล้วหรือยัง" หากว่ายังไม่ได้ติดตั้ง การติดตั้งตัวเก็บประจุจะช่วยลดโหลดของหม้อแปลงตัวนั้นได้ โดยตัวเก็บประจุที่ติดตั้งเพิ่มจะช่วยหม้อแปลงจ่ายกระแส หรือกำลังไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่แต่เดิม หม้อแปลงต้องรับภาระจ่ายเองทั้งหมด ทำให้หม้อแปลงมีกำลังเหลือ เพื่อที่จะไปจ่ายโหลดอื่นเพิ่มเติมได้

- ลดค่าไฟฟ้าที่สูญเสียไปในรูปของความร้อน ในสายไฟ และหม้อแปลง

คาปาซิเตอร์สามารถลดค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ได้ด้วยเหมือนกัน แต่เนื่องจากลักษณะการติดตั้งในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะติดตั้งตู้คาปาซิเตอร์ (Capcitor Bank) ติดกับตู้ MDB หรืออีกนัยหนึ่ง คือใกล้กับหม้อแปลงมาก จึงทำให้การติดตั้งคาปาซิเตอร์ไม่ได้ลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบได้มากอย่างเห็นได้ชัด

4) ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

<u>ข้อดี</u>

- เพิ่มประสิทธิภาพโดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
- เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
- มีความยืดหยุ่นมาก เพราะ สามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอด-คล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
- ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำและไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
- สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย
- ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่ายสามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

<u>ข้อเสีย</u>

- การเกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ
- การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหายทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

5) ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

- เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้วแรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นการเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
- จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะ ความร้อนยิ่งสูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง
- การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรงต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดีและต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้

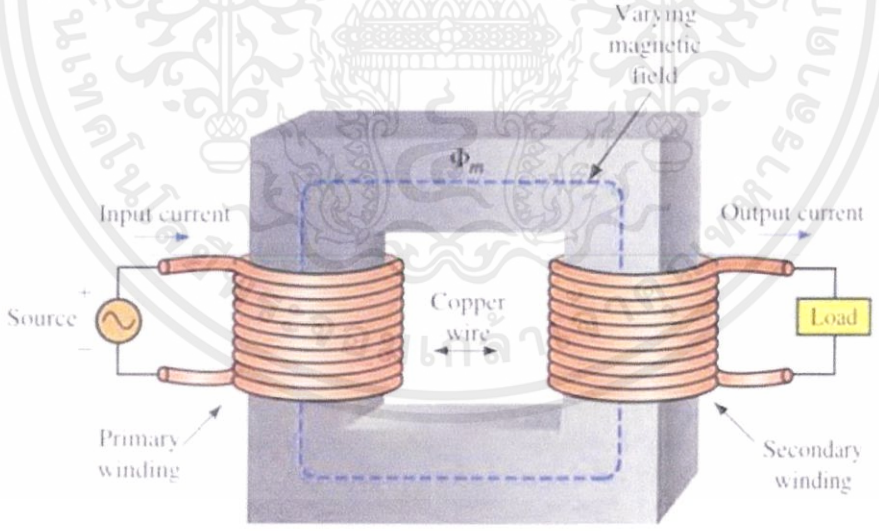
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป

- อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ก สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบ เมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที ในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษ

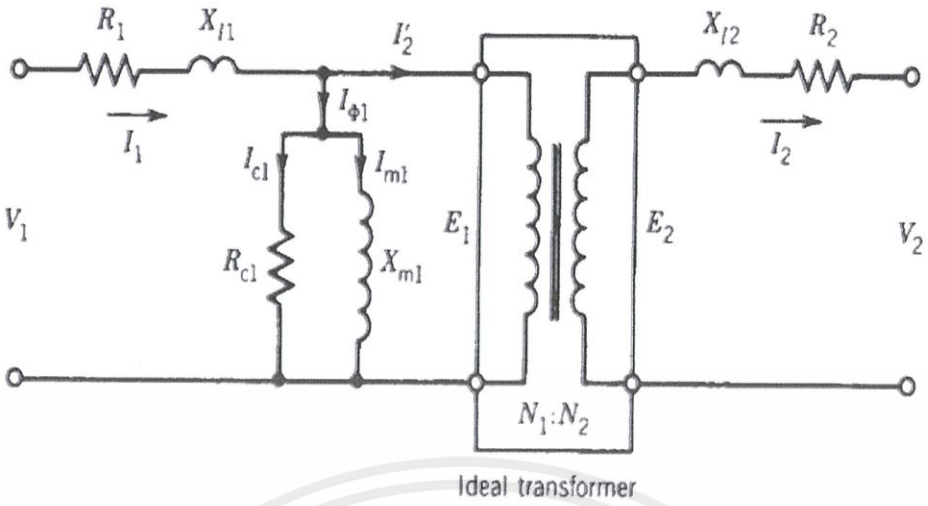
2.2.2 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการปลดหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ แปลงแรงดัน และแยกวงจร 2 ฝั่งออกจากกันทางไฟฟ้า หม้อแปลงไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่เป็นตัวส่งผ่านพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิ (Primary) ไปยังฝั่งทุติยภูมิ (Secondary) โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างแม่เหล็กกับไฟฟ้า จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ฝั่ง ไม่ได้ต่อถึงกันทางไฟฟ้าแต่อย่างใด การที่ฝั่งทุติยภูมิสามารถจ่ายไฟได้ เพราะพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมินั่นเอง ขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (แรงดันไฟฟ้า) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พันบนแกนเหล็กเป็นสำคัญ ในการนี้จะพบว่า หม้อแปลงในทางปฏิบัติมีความแตกต่างไปจากหม้อแปลงในทางอุดมคติ เพราะมีความต้านทานในขดลวด ทำให้เกิดการสูญเสียในลวดตัวนำได้และยังเกิดการสูญเสียขึ้นในแกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุอีกด้วย โดยมีวงจรสมมูลย์ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งมีความซับซ้อนที่จะอธิบาย จึงขออธิบายเพียงเนื้อหาที่ควรทราบพอสังเขปเท่านั้น



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า (ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ระดับสามัญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง (ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ระดับสามัญ)

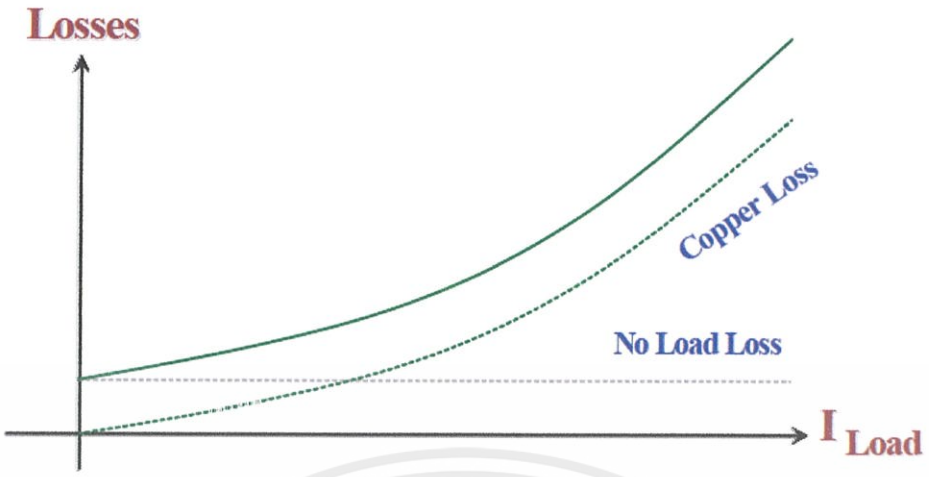
ในทางปฏิบัตินั้น หม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะ คือ

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลด แต่มีการต่อไฟทางฝั่งปฐมภูมิเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ประมาณว่าเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก จึงอาจเรียกว่า การสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับการจ่ายโหลด

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss) หมายถึง กำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายโหลด มีค่าแปรผันตามกระแสยกกำลังสอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียในขดลวดทองแดง

หากพิจารณาจากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะสามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นประ และมีการสูญเสียรวมดังเส้นทึบ จะเห็นว่าแม้ไม่มีการจ่ายโหลดเลย แต่ก็ยังคงมีการสูญเสียในหม้อแปลงเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง
(ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ระดับสามัญ)

หม้อแปลงไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-75% ของพิกัด ถ้าหากใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงบ้าง โดยทั่วไปนิยมใช้หม้อแปลง 2 ตัว แบ่งภาระการจ่ายโหลดโดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดประมาณ 75% ในทางปฏิบัติแล้ว มีหลายกรณีที่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เกินภาระการใช้งานจริง จึงทำให้เกิดการสูญเสียมาก จึงควรจะระมัดระวังการใช้หม้อแปลงในลักษณะนี้ พิจารณาตารางที่ 2.4 แสดงค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 kV ซึ่งจะเห็นได้ว่าพิกัดของหม้อแปลงยิ่งมาก การสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลดก็ยิ่งมาก ดังนั้นหากมีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารหรือโรงงานตลอดจนมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้วก็จะช่วยลดกระแสที่หม้อแปลงต้องจ่ายได้ ถือเป็นการลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงได้อีกทางหนึ่งด้วย เป็นการใช้งานหม้อแปลงให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และลดการสูญเสียโดยไม่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 กิโลโวลต์

ขนาด kVA	V1/V2 (kV/V)	หม้อแปลงธรรมดา			หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง		
		สูญเสียขณะไม่มีโหลด (วัตต์)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)	สูญเสียขณะไม่มีโหลด (วัตต์)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)
315	22/400	900	3900	98.47	700	3900	98.53
400	22/400	980	4600	98.60	850	4600	98.63
500	22/400	1150	5500	98.67	1000	5500	98.70
630	22/400	1350	6500	98.75	1200	6500	98.77
800	22/400	1600	11000	98.43	1300	11000	98.46
1000	22/400	1900	13500	98.46	1600	13500	98.49
1250	22/400	2300	16400	98.50	1800	16400	98.54
1500	22/400	2800	19800	98.50	2100	19800	98.54
2000	22/400	3250	24000	98.63	2700	24000	98.54

หากต้องการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} + \text{กำลังไฟฟ้าที่เสียไปขณะไม่มีโหลด} + \text{กำลังไฟฟ้าที่เสียไปขณะมีโหลด}}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ การสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับการสูญเสียในขดลวดตัวนำ

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งวัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}}{(\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}) + (\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด} \times 24) + (\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน})}$$

การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสม

การจัดระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้หม้อแปลง 2 ตัว แต่ละตัว มีขนาดเป็น 0.75 เท่า (1/1.333)ของโหลดทั้งหมดในอาคาร การเลือกใช้หม้อแปลงขนาดเล็กมากกว่า 1 ตัวดีกว่าใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เพียงตัวเดียวขนาดของหม้อแปลงที่เหมาะสมสูงสุดเป็น 2500 kVA ดังตารางที่ 2.5 และ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การเลือกขนาดหม้อแปลง 2 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

ขนาดของโหลด (kVA)	ขนาดหม้อแปลง (kVA) จำนวน 2 ตัว
1000	750
1500	1250
2000	1500
2500	2000
3000	2500

ตารางที่ 2.6 การเลือกขนาดหม้อแปลง 3 ตัว หรือ 4 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

ขนาดของโหลด (kVA)	ขนาดหม้อแปลง (kVA) 3 ตัว	ขนาดหม้อแปลง (kVA) 4 ตัว
5000	-	1250
5333	2000	-
6000	-	1500
6666	2500	-
8000	-	2000
10000	-	2500

2.2.3 มาตรการปรับลดแรงดันที่ปลายสาย โดยการแทปหม้อแปลง

โดยปกติแรงดันของระบบไฟฟ้าจำหน่ายในรอบวันอาจจะไม่คงที่นัก เพราะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งทางฝั่งระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ก็มีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่อาจจะไม่คงที่เช่นกัน เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดใช้งานอาจจะมีค่าแรงดันใช้งานไม่ตรงกับค่าในทางทฤษฎี ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว วิศวกรไฟฟ้าจะออกแบบให้ระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าแรงดันใช้งานในทางทฤษฎี เพื่อต้องการเผื่อแรงดันตกในสายไฟในช่วงที่มีการใช้กระแสมากๆด้วย ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมานี้ ทำให้ผลการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารมักจะพบว่า บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปมาก บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปน้อย และมีในบางกรณีที่แรงดันใช้งานใกล้เคียงกับแรงดันใช้งาน

สำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยนั้น ค่าแรงดันใช้งานตามปกติ (ตามทฤษฎี) คือ ระบบไฟฟ้า 3 เฟสมีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 380 V และระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 220 V ในกรณีที่ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งปลายสายไฟหรือตำแหน่งที่ห่างจากตู้ควบคุมไฟฟ้ามากๆ แล้วพบว่า แรงดันเกินแรงดันไปจากแรงดันใช้งานมาก อาจมีผลให้อุปกรณ์บางชนิดใช้ไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย ที่เห็นได้ชัดได้แก่ หลอดไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากพอสมควร และมีอุปกรณ์อีกหลายประเภทเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับสูงขึ้น ก็อาจใช้ไฟฟ้ามากขึ้นบ้างเล็กน้อย ทำให้โดยภาพรวม ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าในระบบเกินไปจากค่าแรงดันใช้งานมาก การสูญเสียในระบบก็จะมีค่ามากตามไปด้วย เป็นผลให้มีการสูญเสียในสายและในหม้อแปลงมากขึ้นอีกด้วย

การแก้ไขสามารถทำได้โดยตรวจวัดแรงดันฟ้าที่ปลายสาย หลายๆตำแหน่ง และหลายช่วงเวลาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากพบว่าในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากๆแล้วแรงดันในระบบยังเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแรงดันใช้งานไปมาก มาตรการอนุรักษ์พลังงานอันหนึ่งที่พึงกระทำได้ คือ ลดแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถปรึกษากับการไฟฟ้าในพื้นที่เพื่อใช้บริการปรับลดแทปของหม้อแปลงให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำลดลง หรือในกรณีที่สถานประกอบการมีระบบรองรับการปรับแทปหม้อแปลงได้อยู่แล้ว ก็อาจจะดำเนินการได้เอง อย่างไรก็ดีเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในรอบวันมีค่าไม่คงที่ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน และแต่ละพื้นที่ๆให้บริการของการไฟฟ้าก็มีพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน จึงยากที่จะคำนวณให้ประจักษ์ว่าจะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่าใดแน่ (สามารถคำนวณตามทฤษฎีพอเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาได้ แต่ก็อาจจะคลาดเคลื่อนไปจากข้อเท็จจริงได้บ้าง) เพราะผลประหยัดที่ชัดเจนที่สุด คือผลประหยัดจากการตรวจวัดเป็นระยะเวลานานๆมาตรการนี้ จึงเหมาะที่จะเป็นมาตรการประเภทที่ไม่ต้องลงทุนมากนัก เพื่อลดความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนของการคำนวณ

2.2.4 มาตรการปรับความเร็วรอบปั๊มน้ำด้วยอุปกรณ์ปรับความเร็ว (VSD)

การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของปั๊มน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มน้ำซึ่งจะยังคงสูงอยู่เมื่อมีอัตราการไหลระหว่าง 60-100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลที่ออกแบบไว้ และเมื่ออัตราการไหลลดต่ำลง ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องสูบน้ำ เมื่อปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นอัตราการไหลและประสิทธิภาพก็จะลดลงเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงการทำงานของปั๊มน้ำเนื่องจากการปรับความเร็วรอบจะอธิบายได้โดยกฎของพัดลมและปั๊มน้ำ (Affinity Laws) ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้ :

อัตราการไหลจะผันแปรตามความเร็ว (Flow α Speed)

เฮดจะผันแปรตามความเร็วยกกำลังสอง (Head α Speed^2)

กำลังขับเคลื่อนที่ใช้ผันแปรตามความเร็วยกกำลังสาม (Power Absorbed α Speed ^{3})

ดังนั้น ถ้าปั๊มน้ำมีความเร็วรอบ 50 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เฮด (Head) เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ และจะใช้กำลังขับเพียง 12.5 เปอร์เซ็นต์สำหรับระบบที่ไม่มีความดันสถิต (Static Head) ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ประเมินผลประหยัดจากการลดความเร็วรอบได้โดยตรง

อินเวอร์เตอร์แบบ Pulse Width Modulated (PWM) เป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบที่ใช้กับระบบปั๊มน้ำที่พบมากที่สุด แม้จะมีอินเวอร์เตอร์แบบอื่นๆ ด้วย อินเวอร์เตอร์แบบ PWM มีประสิทธิภาพและกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ต่ำ และกรณีที่ปั๊มน้ำขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่ (กรณีนั้นอาจไม่จำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์) ศักยภาพของการประหยัดจากการใช้อินเวอร์เตอร์จะสูงเมื่อการขับเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มีประสิทธิภาพการควบคุมอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ อาจทำได้โดยปรับด้วยคนหรือแบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์เครื่องวัดในระบบ เช่น อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์วัดความดัน และบางกรณีอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Interfacing) ถ้าสัญญาณที่ส่งมาไม่ได้มาตรฐาน

การใช้ปั๊มน้ำที่ปรับความเร็วรอบเพื่อให้เกิดการประหยัดมากที่สุดจะขึ้นอยู่กับความต้องการใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงและทำงานต่ำกว่าอัตราการไหลสูงสุดเป็นระยะเวลานานและกรณีที่ความเสียดทานของระบบส่วนใหญ่เกิดจากความเสียดทานความดันสถิตต่ำผลที่ตามมาทำให้ปั๊มน้ำทำงานที่ระดับความเร็วต่ำลง

โดยทางปฏิบัติเมื่อเราทราบจุดปฏิบัติงานที่เหมาะสมเมื่อปรับความเร็วรอบมอเตอร์จะพบว่าสามารถคำนวณได้จากความสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

โดย: P_1 = กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง(kW)

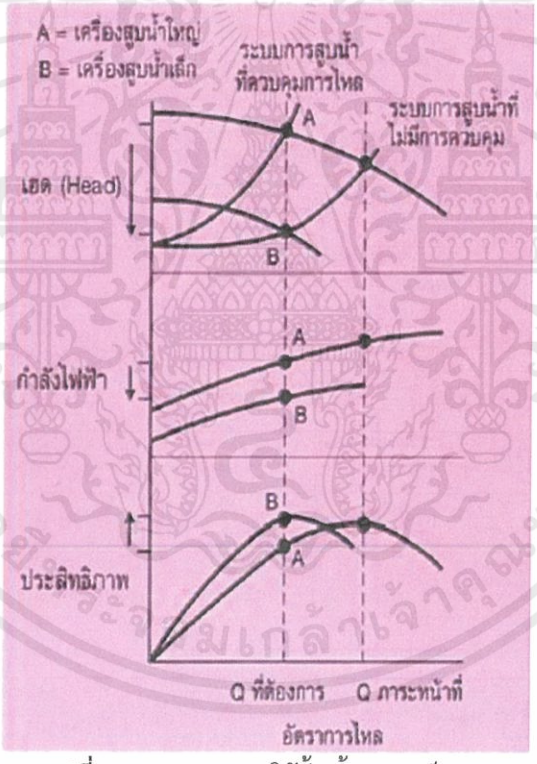
N_1 = ความเร็วรอบมอเตอร์ก่อนปรับปรุง(rpm)

P_2 = กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง(kW)

N_2 = ความเร็วรอบมอเตอร์หลังปรับปรุง(rpm)

2.2.5 มาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ

การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงจะคุ้มค่าซึ่งก็เมื่อปั๊มมีขนาดใหญ่เกินกว่าภาระสูงสุดของปั๊มน้ำมาก, ปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 80% ณ ระดับของภาระโหลดสูงสุดและมีการใช้พลังงานสูง นั่นคือ เมื่อปั๊มน้ำขนาดใหญ่เดินเครื่องเป็นระยะเวลานานเช่น ถ้าปั๊มน้ำที่ติดตั้งวาล์วควบคุมการไหลเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตาม ความต้องการอาจใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงกว่าที่ออกแบบเพื่อให้ส่งจ่ายน้ำด้วยอัตราการไหลเท่าเดิมแต่ด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.11 ผลจากการใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กลง

(ที่มา : คู่มือการเดินเครื่องจักร การตรวจวัด และการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าเมื่อปั๊มขนาดเล็กลง ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ใช้กำลังไฟฟ้าที่น้อยลง เฮดจะลดลงเป็นกำลังสอง อัตราการไหลก็จะลดลงด้วย เราจะสามารถคำนวณกำลังฟ้าจริงที่ลดลงจากการเปลี่ยนปั๊มน้ำให้มีขนาดเล็กลงดังนี้

kWที่ลดลง = kW ของปั๊มน้ำใหญ่ - kWของปั๊มเล็ก

2.2.6 มาตรการเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

หากเราจะเปลี่ยนมอเตอร์ต้องรู้ก่อนว่าประสิทธิภาพไฟฟ้าของมอเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับสิ่งใดบ้าง ซึ่งประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์โดยทั่วๆไปแล้วการสูญเสียในมอเตอร์จะมาจากการสูญเสียที่มีค่าคงที่และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามโหลดของมอเตอร์ ซึ่งจะแบ่งการสูญเสียเป็นดังต่อไปนี้

- การสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core losses) เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ไหลอยู่ในแกนเหล็ก (Hysteresis losses) รวมทั้งการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy current losses)

- การสูญเสียจากแรงลมที่ต้านทานการหมุนและแรงเสียดทาน (Windage and frictionlosses) เกิดจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืน และแรงต้านของครีบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์ โดยรวมแล้วการสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงลม และแรงเสียดทาน เป็นค่าการสูญเสียที่คงที่ และไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์เรียกโดยรวมว่า “ค่าการสูญเสียขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด” (No - Load losses)

- การสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator losses) จะอยู่ในรูปของความร้อนเกิดจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน

- การสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor losses) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์ แต่เกิดที่ตัวนำในโรเตอร์

- การสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray losses) เป็นผลจากค่าการสูญเสียที่เกิดจากความถี่ในแกนเหล็กที่โรเตอร์ ค่ากระแสไหลวนในขดลวดที่สเตเตอร์ ค่าการสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์มอนิกในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มีโหลดค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสโหลด ซึ่งการสูญเสียที่สเตเตอร์ โรเตอร์และจากภาระการใช้งาน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของโหลดเรียกโดยรวมว่า “ค่าความสูญเสียขณะมีโหลด” (Load losses)

โดยจะสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพได้จากสูตร

$$\text{Eff} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

โดยที่ : P_{out} = กำลังไฟฟ้าขาออก

P_{in} = กำลังไฟฟ้าขาเข้า

Eff = ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลักษณะความแตกต่างของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับมอเตอร์มาตรฐานจะมีความแตกต่างดังต่อไปนี้

- ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก มอเตอร์ทั่วๆ ไปใช้เหล็กแผ่นที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (Low-carbon laminated steel) สำหรับทำตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ซึ่งแกนเหล็กดังกล่าวมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าเทียบกับน้ำหนักประมาณ 6.6 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้แผ่นเหล็กซิลิกอนคุณภาพสูง (High grade silicon steel) ซึ่งจะมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าลดลงถึงครึ่งหนึ่งคือเหลือเพียงประมาณ 3.3 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม

- แผ่นเหล็กที่บางขึ้น การลดความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็ก ทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์ จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน ซึ่งเมื่อรวมกับการปรับปรุงฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กแล้วจะช่วยลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนได้มากยิ่งขึ้น

- เพิ่มปริมาณของตัวนำ มอเตอร์รุ่นเก่า ๆ จะใช้ลวดทองแดงหรือลวดอะลูมิเนียมที่มีขนาดพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากโหลดของมอเตอร์แต่มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดค่าความต้านทานในขดลวดโดยขนาดของตัวนำจะใหญ่กว่าประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

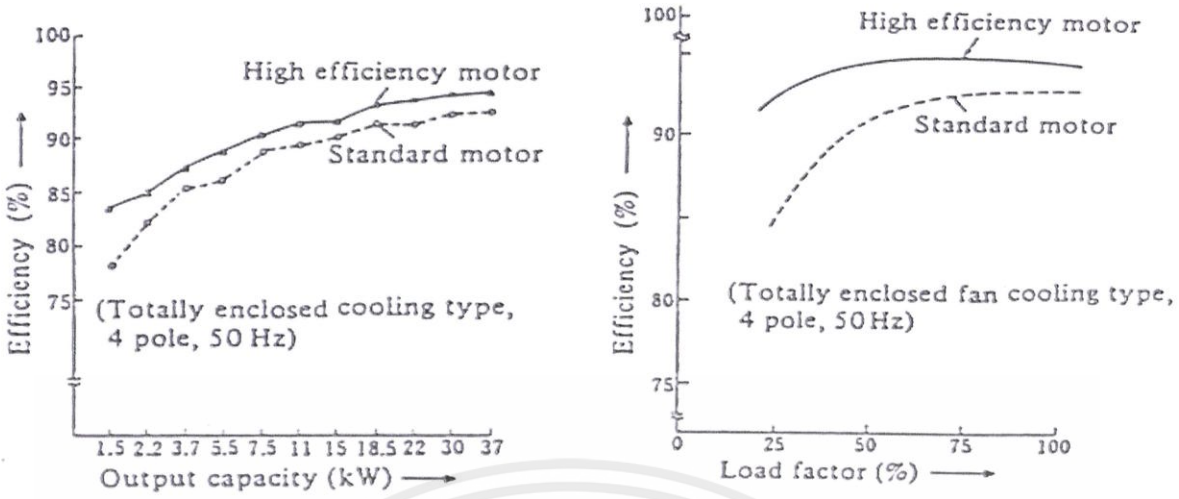
- ปรับปรุงการออกแบบร่องสล๊อต เพื่อที่จะรองรับกับขนาดขดลวดที่ใหญ่ขึ้นทำให้ต้องมีการปรับปรุงและออกแบบร่องสล็อตใหม่ รวมทั้งเพิ่มความยาวของแกนเหล็กที่สเตเตอร์ซึ่งแกนเหล็กที่ยาวขึ้นจะเป็นผลต่อค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีขึ้นด้วย

- ลดช่องว่างระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ การลดช่องว่างที่เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ที่วิ่งผ่านไปยังโรเตอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเพื่อที่จะสร้างแรงบิดเท่าเดิม นอกจากนี้การเพิ่มความยาวของแกนเหล็กยังเป็นการเพิ่มปริมาณสนามแม่เหล็ก ที่จะเป็นผลทำให้เกิดผลแบบเดียวกันกับการลดช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์

- ปรับปรุงฉนวนที่โรเตอร์ ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่องสล๊อตที่โรเตอร์จะได้รับการตรวจสอบเป็นอย่างดี และเคลือบด้วยฉนวนที่สามารถทนความร้อนได้สูงซึ่งจะลดค่าการสูญเสียจากตัวนำที่ไม่เรียบร้อยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขณะที่ฝังตัวนำเข้าไว้ในโรเตอร์ซึ่งโดยปกติแล้วตัวนำที่อยู่ที่โรเตอร์จะถูกออกแบบไว้ในลักษณะเฉียงกับแนวแกนของโรเตอร์เพื่อที่จะลดเสียงรบกวนและแรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอในมอเตอร์ขนาดเล็ก

- ออกแบบพัดลมใหม่เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงมีอุณหภูมิในขณะที่ทำงานต่ำกว่ามอเตอร์ธรรมดาเป็นผลให้พัดลมที่ใช้ระบายความร้อนมีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นการลดการสูญเสียจากแรงลมรวมถึงระดับเสียงของพัดลมในขณะทำงานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ข)

รูปที่ 2.12 ก) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับพิกัดมอเตอร์
ข) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานมอเตอร์
(ที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การประยุกต์ใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. มาตรการประหยัดพลังงานมาตรฐาน มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง. พฤษภาคม, 2543)

การอนุรักษ์พลังงานที่เกิดจากการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ในปัจจุบันมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีราคาสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐานประมาณ 20% ราคาที่เพิ่มขึ้นนี้จะกลับคืนมาในรูปของการประหยัดค่าพลังงาน จากการที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นสูงขึ้น การประหยัดค่าพลังงานสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{กำลังวัตต์ที่ลดลง} = \text{ภาระกิโลวัตต์} \times \left(\frac{100}{\text{ประสิทธิภาพมอเตอร์มาตรฐาน}} - \frac{100}{\text{ประสิทธิภาพมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง}} \right)$$

2.2.7 มาตรการการลดขนาดใบพัดของพัดลม

การที่ลดขนาดใบพัดของพัดลมจะอยู่ในกฎความคล้ายของพัดลม ซึ่งก็เช่นเดียวกับการทำงานของปั๊มสมรรถนะของพัดลมที่นำมาใช้งานกับระบบระบายอากาศโดยอยู่ภายใต้ความหนาแน่นของอากาศคงที่ เนื่องจากพัดลมทุกชนิดทำงานตามหลักการของปั๊มชนิดไคเนติกส์ กฎของพัดลมจึงสามารถใช้ได้กับพัดลมทุกชนิด

เมื่อปรับความเร็วรอบให้คงที่แต่เปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามดังสูตรต่อไปนี้

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \qquad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$SPL_1 - SPL_2 = 50 log_{10}\left(\frac{D_1}{D_2}\right)$$

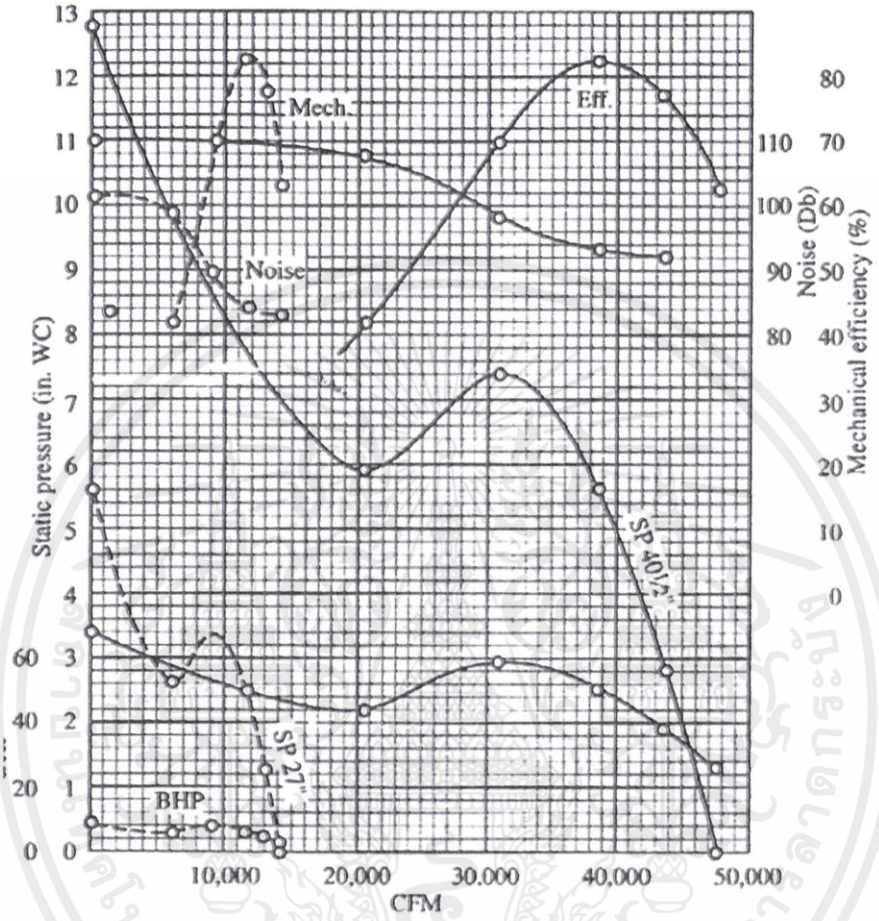
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ : 1 = ก่อนปรับปรุง ,2 =หลังปรับปรุง

Q = อัตราการไหล (cfm) H=เฮด (m)

D =ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (mm) Bhp=กำลังม้า(แรงม้า)

SPL=ระดับความดังของเสียง(dB)



รูปที่ 2.13 กราฟอัตราการไหลกับกำลังม้าซึ่งเปรียบเทียบเมื่อขนาดของใบพัดเปลี่ยนไป

(ที่มา : คู่มือการเดินเครื่องจักร การตรวจวัด และการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า อัตราการสูบ เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการและระดับความดังของเสียงมีค่ามากขึ้นเมื่อพัดลมมีขนาดใบพัดที่ใหญ่ขึ้น แต่ประสิทธิภาพของพัดลมมีค่าคงเดิม

ซึ่งการที่จะคำนวณจุดคืนทุนนั้นต้องใช้สูตรเพื่อแปลงจากกำลังม้าเป็นกำลังไฟฟ้าซึ่งมีสูตรดังต่อไปนี้

$$Bhp = \frac{P}{0.746}$$

โดยที่ : Bhp = กำลังม้า (แรงม้า)

P = กำลังไฟฟ้า (kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 มาตรการปรับปรุงเครื่องทำความเย็น

การทดสอบหาค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่กำลังใช้งานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 ข้อ 8(2) ข ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น; Chp = kW / TR

โดย kW คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ให้ใช้ค่าจากการตรวจวัด

TR คือ ความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัด มีหน่วยเป็นตันความเย็น ซึ่งหาได้จาก

$$TR = [F \times (Tr - Ts)] / 50.40$$

F คือ ปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนทำความเย็น มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที ให้ใช้ค่าจากการตรวจวัด

Ts คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกจากส่วนทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

Tr คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าส่วนทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

เนื่องจาก สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิอากาศภายนอก, อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน, อุณหภูมิน้ำเย็น, ภาระของเครื่องทำน้ำเย็นขณะทำการทดสอบ ดังนั้น ในการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดสภาวะมาตรฐานขึ้น เพื่อให้ผลการทดสอบอยู่บนมาตรฐานเดียวกัน และใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะของกฎกระทรวงได้ ซึ่งกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานได้กำหนดตารางค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น และพลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.2.9 มาตรการปรับปรุงการเผาไหม้

การเผาไหม้ไอน้ำ ถ้าหากมีการใช้เชื้อเพลิงหรืออากาศมากเกินความจำเป็นที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้ว จะเกิดการสูญเปล่าของเชื้อเพลิง ในกรณีที่อากาศน้อยไปการเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ ซึ่งหมายความว่าพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดควันและมีเขม่าจับในหม้อไอน้ำ ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนในหม้อไอน้ำไม่ดี ถ้าหากอากาศมากเกินไปพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการทำให้อากาศส่วนเกินร้อนเกินไปแล้วปล่อยทิ้งทางปล่องไอเสียโดยเปล่าประโยชน์การปรับปรุงประสิทธิภาพของการเผาไหม้สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการต่อไปนี้

หาประสิทธิภาพของการเผาไหม้สูงสุดของหม้อไอน้ำแต่ละตัว

โดยอาจจะได้มาจากผู้ผลิตหม้อไอน้ำหรือข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบระหว่างการตรวจรับโดยทั่วไป หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันจะมีประสิทธิภาพประมาณ 83% และ 85%สำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซ

หม้อไอน้ำสำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพดี จะให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนจากปล่องควันประมาณ 60°C สูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว และอุณหภูมิของก๊าซร้อนนี้จะลดลงเมื่อระดับการเผาไหม้ต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10 มาตรการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์

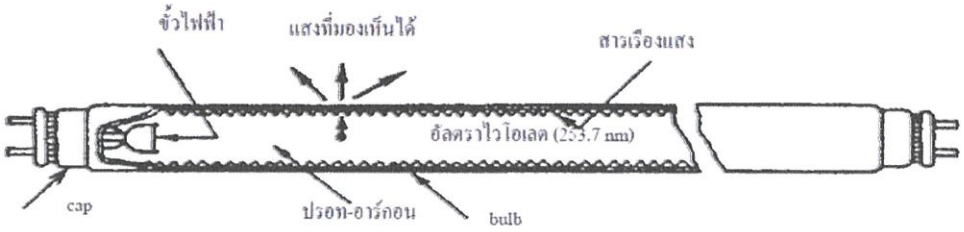
หลอดฟลูออเรสเซนต์มีวิวัฒนาการและเริ่มผลิตมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2482 หลอดฟลูออเรสเซนต์ยุคแรก มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 38 mm (หรือ 1.5 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T12 (ปัจจุบันเลิกผลิตจำหน่ายแล้ว) ต่อมาหลอดประเภทนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีประสิทธิผลสูงขึ้นและใช้กำลังไฟลดลง โดยหลอดประเภทนี้เรียกว่า หลอดผอม ทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 26 mm (หรือ 1 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T8 ซึ่งขนาดที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ 18 W 36 W และ 58W

ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่คือหลอดฟลักซ์การส่องสว่างสูงประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Lamps: HE Lamps) หรือหลอด T5 หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่นี้มีขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 16 mm (หรือ 5/8 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T5 แต่หลอดประเภทนี้จะต้องใช้ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ โดยขนาดมีทั้งที่เป็นแบบมาตรฐาน (Standard) ที่มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 14 W 21W 28 W และ 35W และแบบความเข้มสูง (High output, HO) ที่มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 24W 39W 54W และ 80W หากจะเปรียบเทียบปริมาณแสงและประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12 สามารถแสดงได้ดัง ตารางที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าพัฒนาการของ T5 ทำให้ได้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 2.7 การเลือกขนาดหม้อแปลง 3 ตัว หรือ 4 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

ประเภทหลอด	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความยาว (นิ้ว)	ปริมาณแสง (ลูเมน)		ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (ลูเมนต่อวัตต์)
			เริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการใช้งาน	
T5 มาตรฐาน	14	22	1350	1269 – 1275	96
	21	34	2100	1974 – 2000	100
	28	46	2900	2726 – 2750	104
	35	58	3650	3431 – 3450	104
T5 ความเข้มสูง	24	22	2000	1880 – 1895	83
	39	34	3500	3290 – 3320	90
	54	46	5000	4700 – 4740	93
	80	58	7000	6580 – 6650	88
T12	40	48	3050 – 3250	2775 – 2950	81
	34	48	2650 - 2800	2430 – 2520	82
T8	32	48	2700 - 2850	2550 - 2710	89
ที่มา: http://dsm.egat.co.th/t5/t5vst8.php: 27/11/2007					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



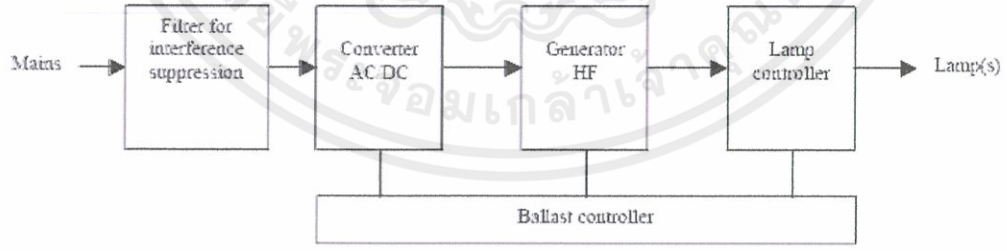
รูปที่ 2.14 โครงสร้างทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์
(ที่มา:กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือการอนุรักษ์พลังงานโรงงานและอาคารธุรกิจ (การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง))

บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป (Conventional ballast)

ในการทำงานบัลลาสต์ซึ่งเป็นขดลวดพันอยู่รอบแกนเหล็กเพื่อสร้างค่าความเหนี่ยวนำสูง ซึ่งมีผลทำให้มีค่าความต้านทานสูงเกิดกำลังสูญเสียมากตามไปด้วยโดยมีค่ากำลังสูญเสียประมาณ 8 – 12 วัตต์ สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 36 หรือ 40วัตต์ และหลอด 18 หรือ 20 วัตต์ การสูญเสียดังกล่าวจะเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน ทำให้อุณหภูมิบัลลาสต์ขณะใช้งานอาจสูงถึง 75 – 90 °C จะทำให้ฉนวนที่เคลือบขดลวดค่อยๆ เสื่อมสภาพและเสื่อมอายุการใช้งานตามเวลา โดยทั่วไปบัลลาสต์แกนเหล็กแบบทั่วไปตามมาตรฐาน มอก. มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปีใช้งาน(หากใช้งานไม่ตลอด 24 ชม. ต่อวัน ก็อาจใช้งานได้นานถึง 30 ปี ตลอดอายุอาคาร)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast)

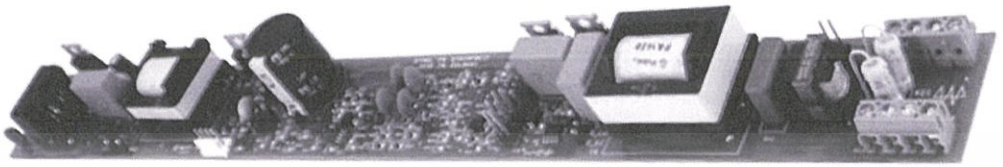
การทำงานของบัลลาสต์ชนิดนี้เหมือนบัลลาสต์แกนเหล็กมีโช้กทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลาสต์ แต่การจะลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในโช้กได้โดยการลดขนาดโช้กให้เล็กลงนั้นเป็นต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายปกติความถี่ 50 Hz เป็นความถี่สูงไม่น้อยกว่า 20,000 Hz (เกณฑ์ 20 kHz เป็นความถี่สูงขั้นต่ำ ที่หูคนทั่วไปจะไม่ได้ยินเสียงการทำงาน) ซึ่งการใช้ความถี่สูงก็จะทำให้สามารถลดขนาดโช้กของบัลลาสต์ให้มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา มีการสูญเสียต่ำ และประหยัดไฟได้มากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็กได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในระดับความถี่ kHz – MHz ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แผนผังแสดงส่วนทำงานหน้าที่ต่างๆของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา:กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือการอนุรักษ์พลังงานโรงงานและอาคารธุรกิจ (การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยส่วนสร้างความถี่สูง (HF Generator) และ ส่วนโช้ก (Lamp Controller) โดยมีวงจรควบคุม (Ballast Controller) ควบคุมการทำงาน ส่วนวงจรกำจัดคลื่นรบกวน(Filter for Interference Suppression) นั้นเป็นวงจรที่อาจมีในบัลลาสต์ที่มีราคาสูงและจัดว่ามีคุณภาพดี ซึ่งบัลลาสต์ราคาถูกบางรุ่นอาจไม่มีวงจรส่วนนี้ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างภาพอุปกรณ์ภายในกล่องบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา:กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือการอนุรักษ์พลังงานโรงงานและอาคารธุรกิจ (การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง))

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจึงต้องใช้อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะถูกต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังถูกออกแบบให้อยู่ในรูปขดลวดเหนี่ยวนำหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ ในขณะที่อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังชนิดวงจรอิเล็กทรอนิกส์มักจะประกอบเข้าเป็นส่วนหนึ่งของบัลลาสต์

2.3 โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic)

โปรแกรมวิชวลเบสิก เป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน สามารถรองรับกับโปรแกรมต่างๆ ของบริษัทไมโครซอฟท์ได้เป็นอย่างดี แม้แต่ไมโครซอฟท์ ออฟฟิต เองก็ยังต้องใช้วิชวลเบสิก สำหรับเขียนโปรแกรมต่อเติมเพื่อการทำงานในระดับสูง หรือแก้ไขส่วนที่บกพร่องเล็กๆน้อยๆ ของโปรแกรม

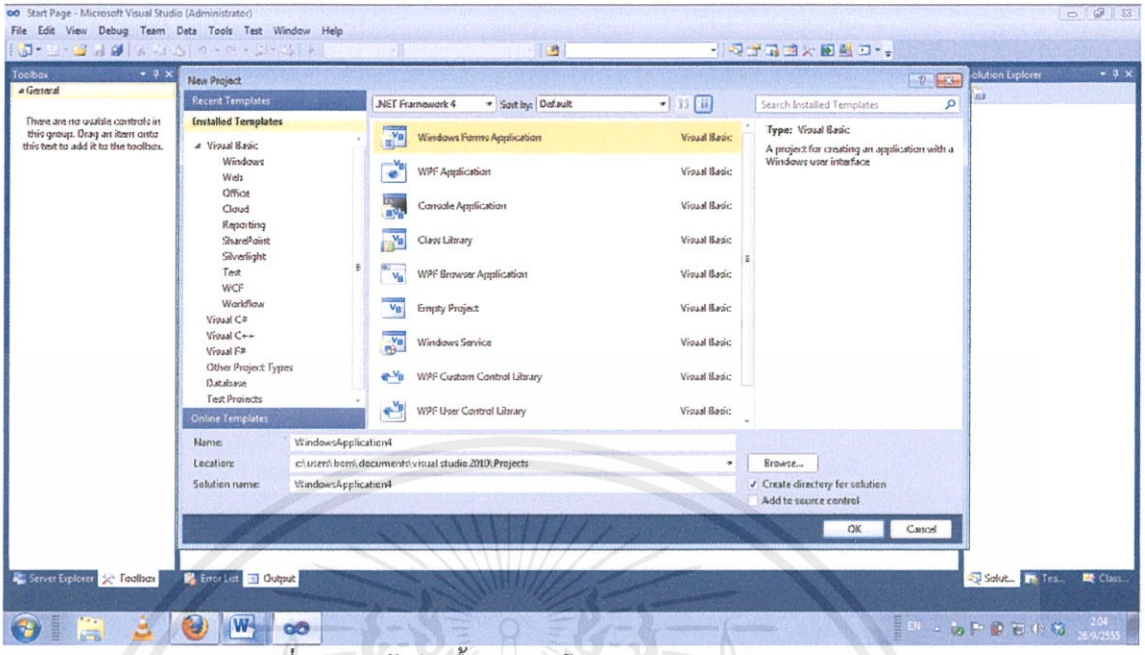
ในส่วนของภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมนั้น พัฒนามาจากภาษาเบสิก (Basic) ซึ่งเป็นภาษาที่มีมาแต่ดั้งเดิมในสมัยที่ยังใช้ ดอส(Dos) ในการพัฒนาโปรแกรม ในตอนนั้นมีภาษาเบสิกหลายตัว อาทิ QBaisic, MBasic เป็นต้น

ส่วนสำคัญที่ทำให้ วิชวลเบสิก กลายมาเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันก็เพราะตัวภาษาเบสิกถูกนำมาใช้เขียนโปรแกรมกับวินโดว์ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างสะดวกและมีความหลากหลายมากขึ้น

ในโครงการนี้เลือกใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก เวอร์ชั่น 2010 ซึ่งเป็นเวอชั่นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ทั้งในงานด้านกราฟฟิคต่างๆ รวมไปถึงการนำมาใช้ในการควบคุมในงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆอีกด้วย

นอกจากนั้นยังรวมไปถึงแหล่งความรู้ทางด้านบุคคล หรือเอกสาร หนังสือ ซึ่งมีอยู่มากมายสำหรับเวอร์ชั่น 2010 นี้ ทำให้เมื่อเกิดปัญหาจะสามารถแก้ไขได้โดยไม่ลำบากนักรวมถึงการเพิ่มทักษะในการเขียนโค้ดต่างๆ ให้งานออกมาดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 หน้าต่างพื้นฐานของโปรแกรมวิชวลเบสิก

คุณสมบัติของโปรแกรมวิชวลเบสิก

นอกจากความง่ายและความสะดวกสบายในการใช้และศึกษาโปรแกรมแล้ว วิชวลเบสิก มีข้อดีที่สรุปได้ดังนี้

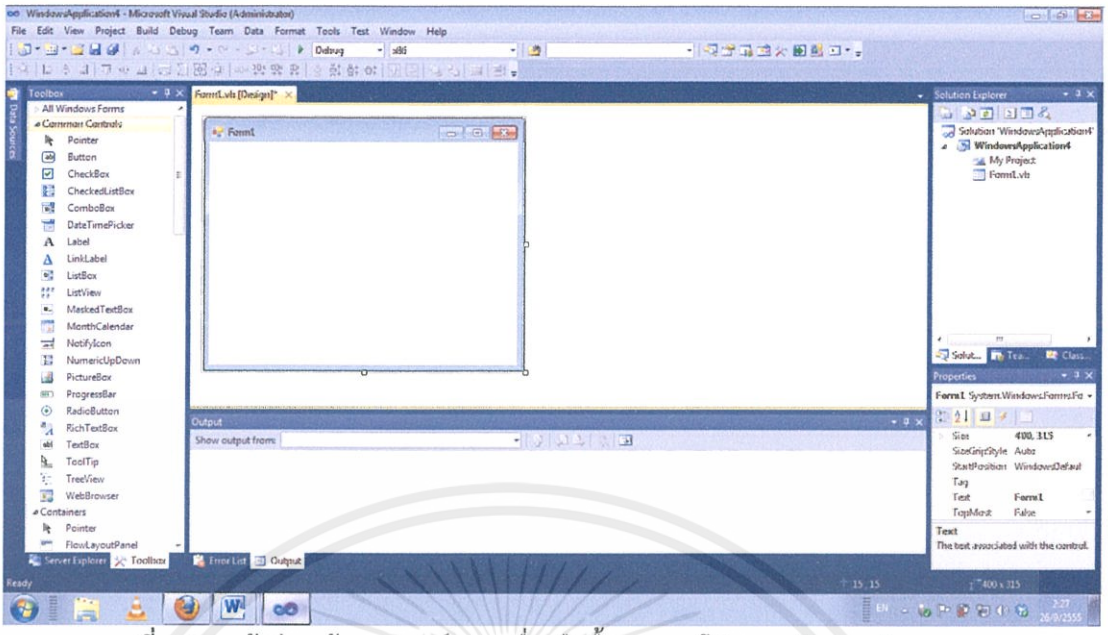
1. สามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานได้ทั้งบนวินโดว์และบนอินเทอร์เน็ต โดยที่ผู้สนใจเขียนโปรแกรมบนวินโดว์สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ที่ตนมีอยู่ในการพัฒนาเว็บแอ็พพลิเคชั่นได้ง่าย โดยสามารถเรียนรู้ VB Script ซึ่งเป็นภาษาในตระกูลวิชวลเบสิก ได้อย่างรวดเร็ว

2. แก้ไขโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้ง่าย ในบางครั้งการเขียนโปรแกรมอาจมีข้อผิดพลาด การแก้ไขหรือปรับปรุงในภายหลังของวิชวลเบสิก นั้นทำได้ง่ายโดยมีเครื่องมือต่างๆ คอยช่วยเหลืออยู่

3. มีเอกสารให้ศึกษาอ้างอิงมาก จากที่กล่าวมาแล้วว่าเป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน เมื่อมีปัญหาหรือข้อสงสัยเกิดขึ้นจะหาคำตอบได้ง่ายจากผู้มีความรู้รวมทั้งเอกสารในรูปแบบต่างๆ รวมถึงจากเว็บไซต์ของไมโครซอฟท์และเว็บไซต์อื่นๆด้วย

4. เป็นโปรแกรมที่มีอนาคต วิชวลเบสิก นั้นเป็นภาษาเขียนโปรแกรมที่ไมโครซอฟท์ถือว่าเป็นภาษาที่สำคัญมาก จึงถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเวอร์ชั่นใหม่ๆอาจเพิ่มความสามารถอย่างมาก ทั้งในตัวภาษาและตัวผลงานที่ได้จากการเขียนโปนแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 หน้าต่างพร้อมอุปกรณ์และเครื่องมือพื้นฐานของโปรแกรมวิชวลเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

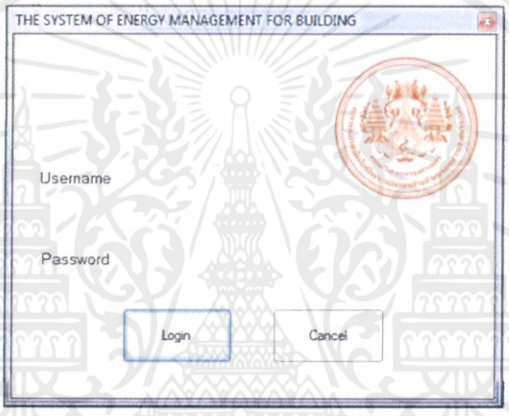
บทที่ 3
การใช้งานโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุน สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการใช้งานโปรแกรมและทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษา ของโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

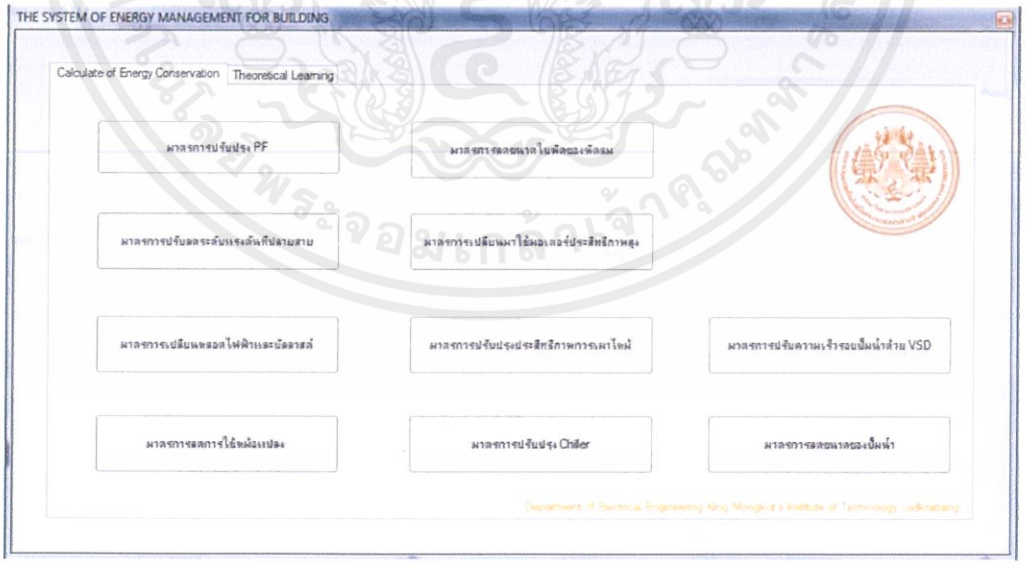
3.1 วิธีการใช้งานโปรแกรม

เมื่อทำการเปิดโปรแกรมจะขึ้นเป็นหน้าต่างดังรูปที่ 3.1 ทำการกรอก Username และ Password เป็น KMITL โปรแกรมจะปรากฏดังรูปที่ 3.2 ซึ่งโปรแกรมจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ

- โปรแกรมคำนวณการอนุรักษ์พลังงาน (Calculate of Energy Conservation)
- โปรแกรมการเรียนรู้ภาคทฤษฎี (Theoretical Learning)

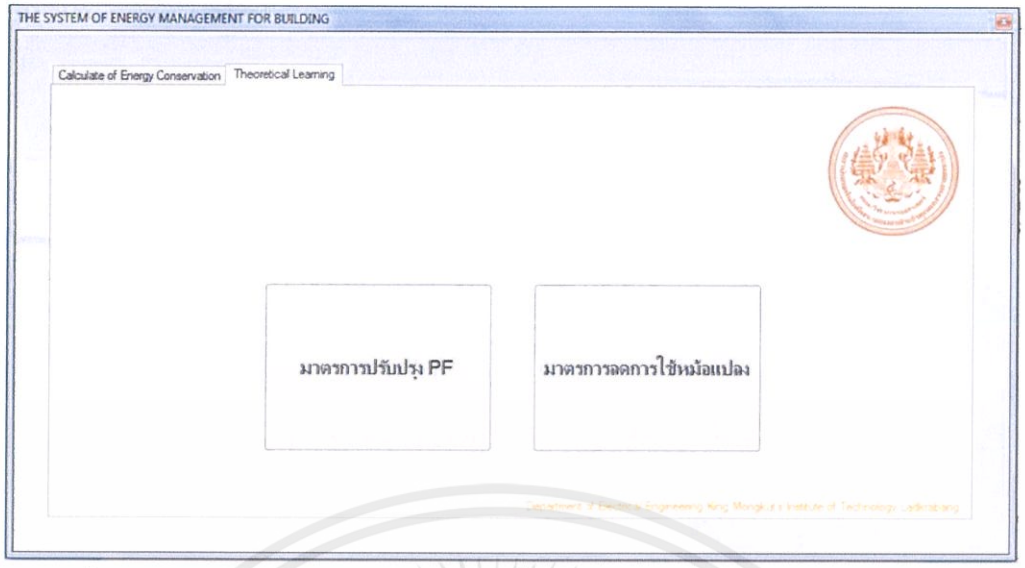


รูปที่ 3.1 หน้าต่างเมื่อทำการเปิดโปรแกรม



รูปที่ 3.2 หน้าต่างโปรแกรมคำนวณเมื่อทำการใส่ Username และ Password แล้ว

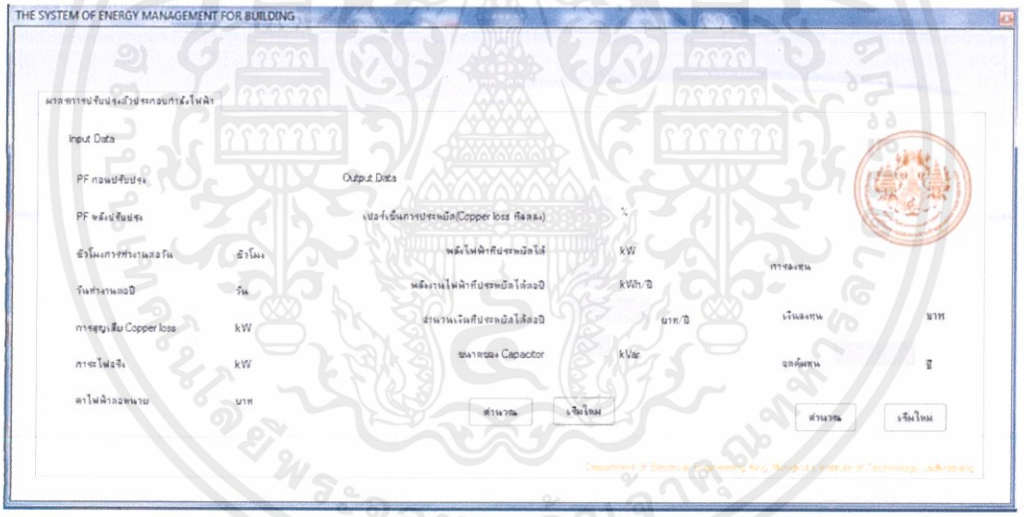
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรมเรียนรู้ภาคทฤษฎีเมื่อทำการใส่ Username และ Password แล้ว

3.1.1 มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เมื่อทำการนำเม้ามาคลิกที่คอนโทรน CommandButton มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะขึ้นเป็นหน้าต่างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หน้าต่างเมื่อทำการคลิกที่คอนโทรน CommandButton มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ซึ่งการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. คำนวณด้านการอนุรักษ์พลังงาน
2. คำนวณด้านการลงทุน

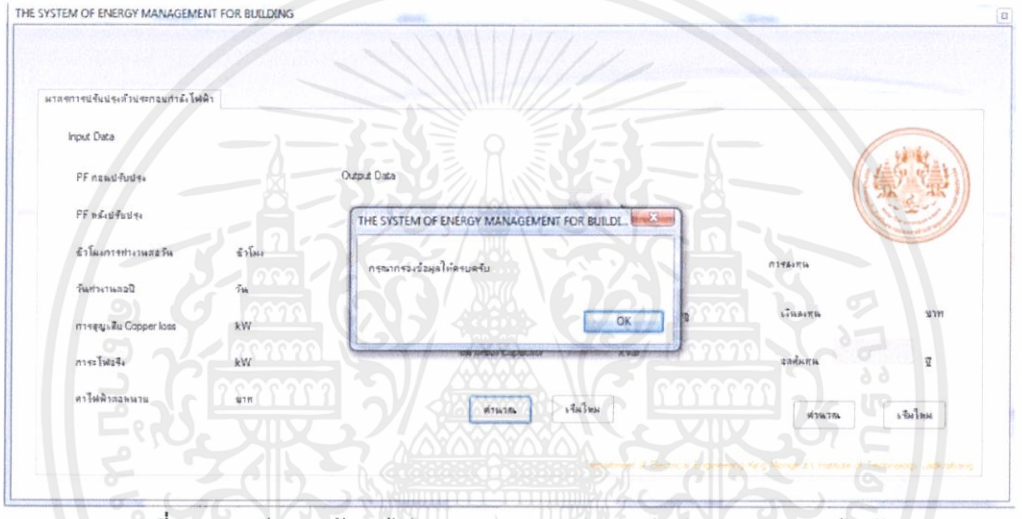
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณด้านอนุรักษ์พลังงาน

นำค่าที่ต้องการคำนวณกรอกลงใน Text Box แต่ละอันที่เป็นค่าอินพุท คือ

- ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง
- ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง
- ชั่วโมงการทำงานต่อวัน
- วันทำงานต่อปี
- การสูญเสียในแกนเหล็ก
- ภาระไฟจริง
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

จากนั้นทำการคำนวณโดยคลิกที่ปุ่ม CommandButton คำนวณที่อยู่ใน Group Box ชื่อ Output Data จากนั้นก็จะแสดงค่าออกมาถ้ากรอกค่าอินพุทไม่ครบก็จะมีหน้าต่างขึ้นมาเตือนดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กรณีกรอกข้อมูลไม่ครบมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

และเมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วก็จะสามารถแสดงค่าเอาท์พุทออกมาดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 กรณีกรอกข้อมูลครบมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ Text Box แต่ละอันที่เป็นค่าเอาท์พุท คือ

-เปอร์เซ็นการประหยัด

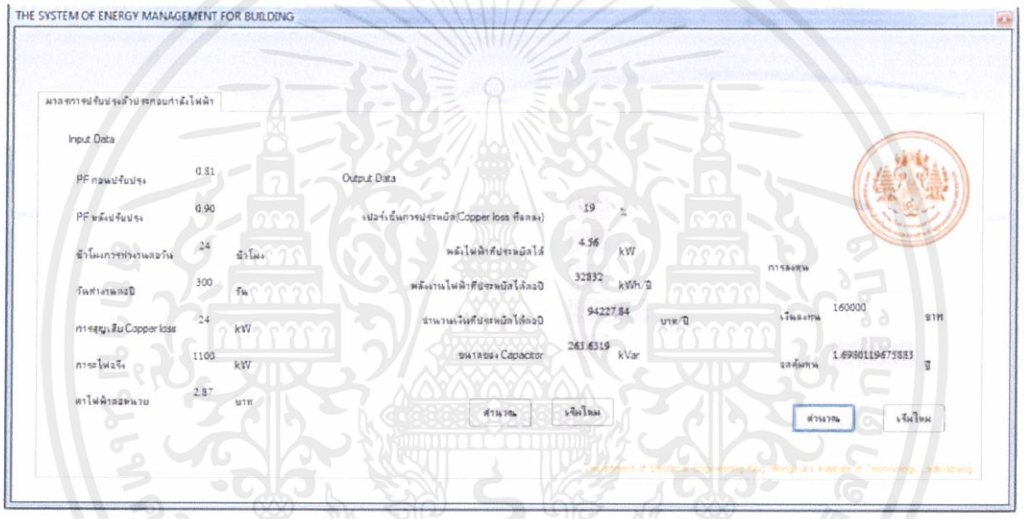
- พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้
- พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี
- จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปี
- ขนาดของตัวเก็บประจุ

การคำนวณด้านการลงทุน

เมื่อคำนวณด้านอนุรักษ์พลังงานเสร็จแล้วก็จะต้องมาคำนวณด้านการลงทุนซึ่งต้องกรอกข้อมูลอินพุท คือ

- เงินลงทุน

เมื่ออินพุทค่าเสร็จแล้วนำเมาท์ไปคลิกที่ปุ่ม CommandButton คำนวณ ที่อยู่ส่วนของ Group Box การลงทุนหน้าต่างโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การคำนวณด้านการลงทุนมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ค่าของ Text Box แต่ละอันที่เป็นค่าเอาท์พุท คือ

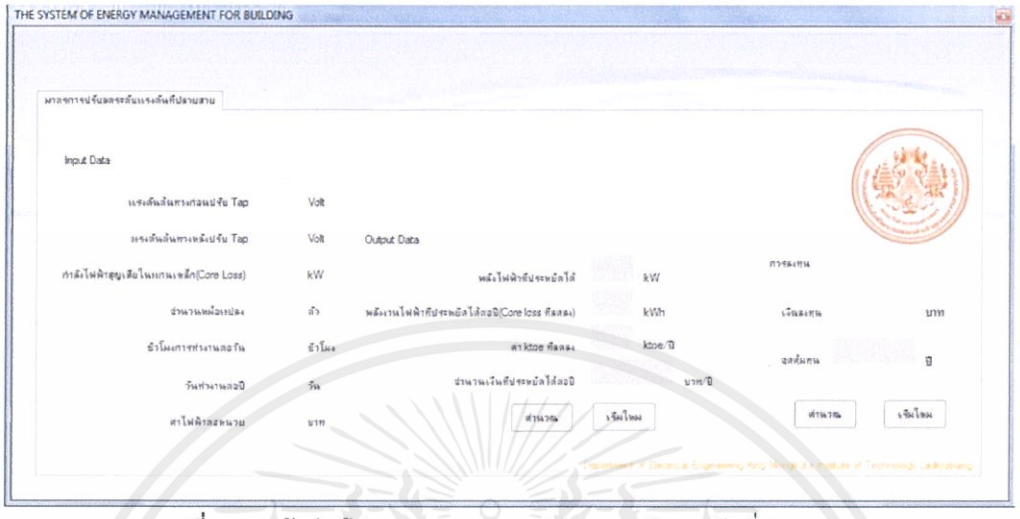
- จุดคุ้มทุน

แล้วถ้าต้องการจะคำนวณใหม่ก็สามารถคลิกที่ปุ่ม CommandButton เริ่มใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 มาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

เมื่อทำการนำเม้าม่าคลิกที่คอนโทรน CommandButton มาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสายที่หน้าต่างของโปรแกรมรูปที่ 3.8 จะมีหน้าต่างขึ้นดังรูป



รูปที่ 3.8 หน้าต่างโปรแกรมมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

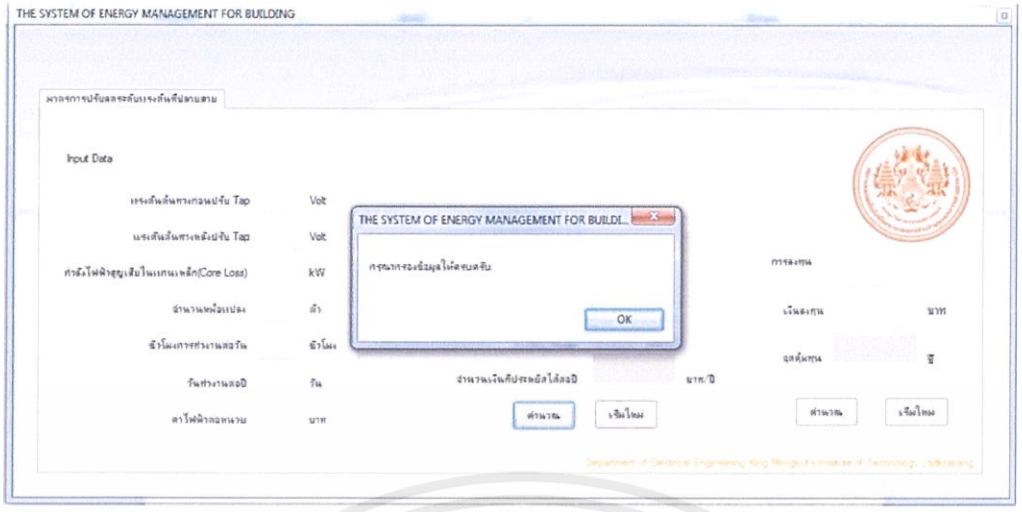
การคำนวณด้านอนุรักษ์พลังงาน

นำค่าที่ต้องการคำนวณกรอกลงใน Text Box แต่ละอันที่เป็นค่าอินพุท คือ

- แรงดันต้นทางก่อนปรับแทปหม้อแปลง
- แรงดันต้นทางหลังปรับแทปหม้อแปลง
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก
- จำนวนหม้อแปลง
- ชั่วโมงการทำงานต่อวัน
- วันทำงานต่อปี
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

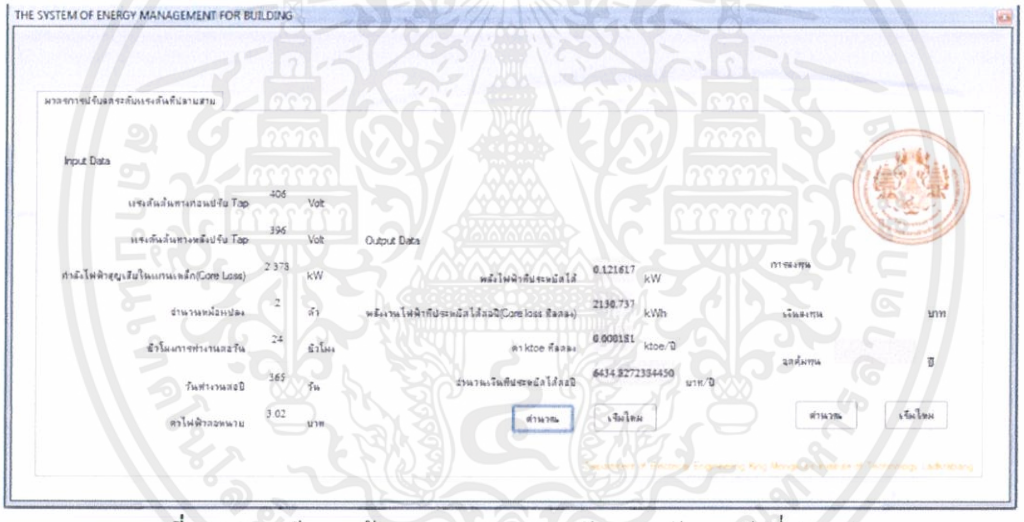
จากนั้นทำการคำนวณโดยคลิกที่ปุ่ม CommandButton คำนวณที่อยู่ฝั่งซ้ายมือจากนั้นก็จะแสดงค่าออกมาถ้ากรอกค่าอินพุทไม่ครบก็จะมีหน้าต่างขึ้นมาเตือนดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กรณีกรอกข้อมูลไม่ครบมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

และเมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วก็จะสามารถแสดงค่าเอาท์พุทออกมาดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กรณีกรอกข้อมูลครบมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

ค่าของ Text Box แต่ละอันที่เป็นค่าเอาท์พุท คือ

- พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้
- พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี
- ค่า ktoes ที่ลดลงต่อปี
- เงินที่ประหยัดได้

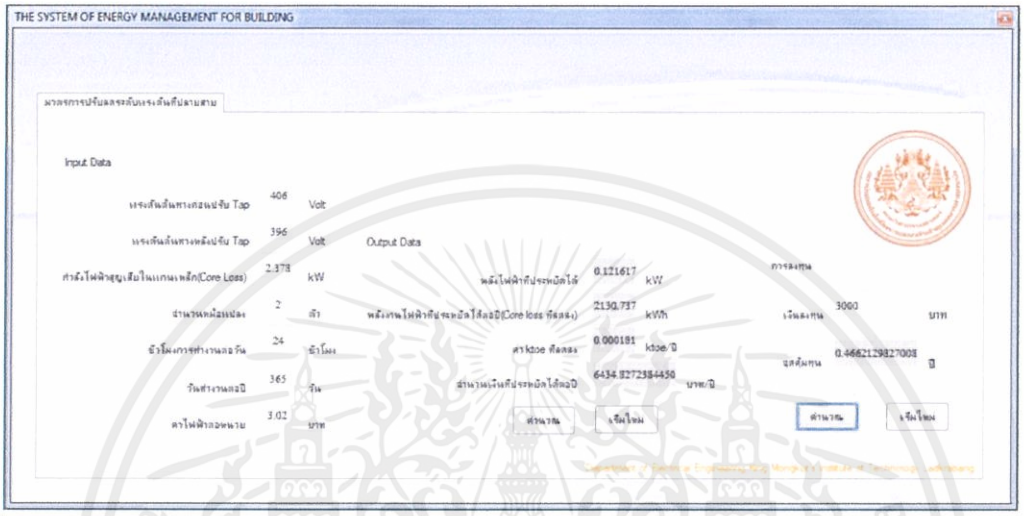
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณด้านการลงทุน

เมื่อคำนวณด้านอนุรักษ์พลังงานเสร็จแล้วก็จะต้องมาคำนวณด้านการลงทุนซึ่งต้องกรอกข้อมูลอินพุท คือ

- เงินลงทุน

เมื่ออินพุทค่าเสร็จแล้วนำเมาท์ไปคลิกที่ปุ่ม CommandButton คำนวณ ที่อยู่ส่วน Group Box การลงทุนของหน้าต่างโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การคำนวณด้านการลงทุนมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

3.1.3 มาตรการลดการใช้หม้อแปลง

เมื่อทำการนำเม้าเมาคลิกที่คอนโทรน CommandButton มาตรการลดการใช้หม้อแปลงที่หน้าต่างของโปรแกรมรูปที่ 3.12 จะมีหน้าต่างขึ้นดังรูป

รูปที่ 3.12 หน้าต่างโปรแกรมมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

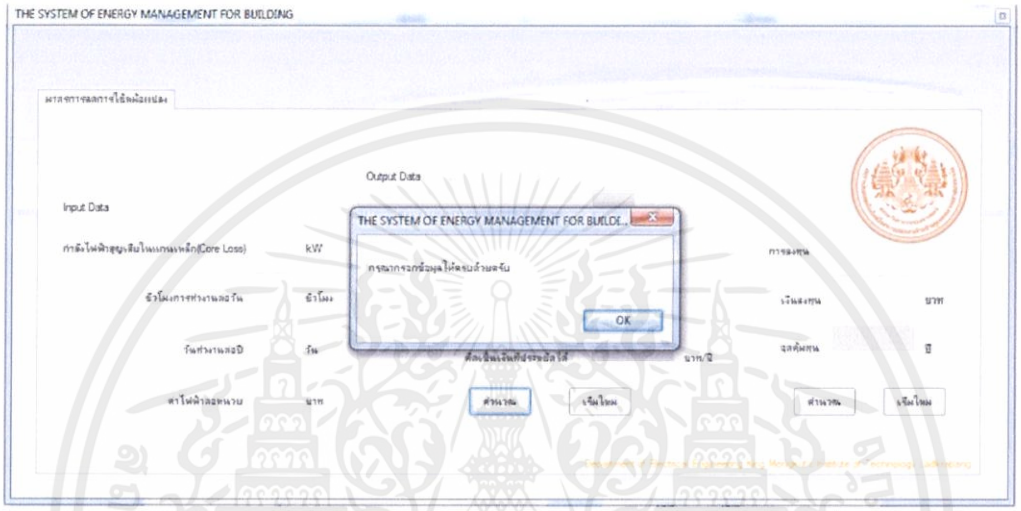
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณด้านอนุรักษ์พลังงาน

นำค่าที่ต้องการคำนวณกรอกลงใน Text Box แต่ละอันที่เป็นค่าอินพุท คือ

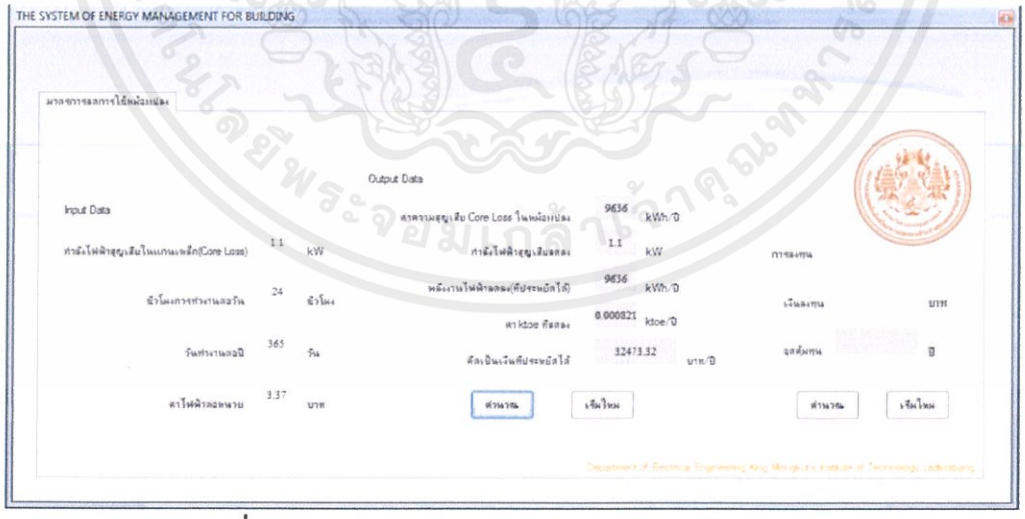
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก
- ชั่วโมงการทำงานต่อวัน
- วันทำงานต่อปี
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

จากนั้นทำการคำนวณโดยคลิกที่ปุ่ม CommandButtonคำนวณที่อยู่ด้านล่างของค่าไฟฟ้าต่อหน่วยจากนั้นก็จะแสดงค่าออกมาถ้ากรอกค่าอินพุทไม่ครบก็จะมีหน้าต่างขึ้นมาเตือนดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กรณีกรอกข้อมูลไม่ครบมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

และเมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วก็จะสามารถแสดงค่าเอาท์พุทออกมาดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 กรณีกรอกข้อมูลครบมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

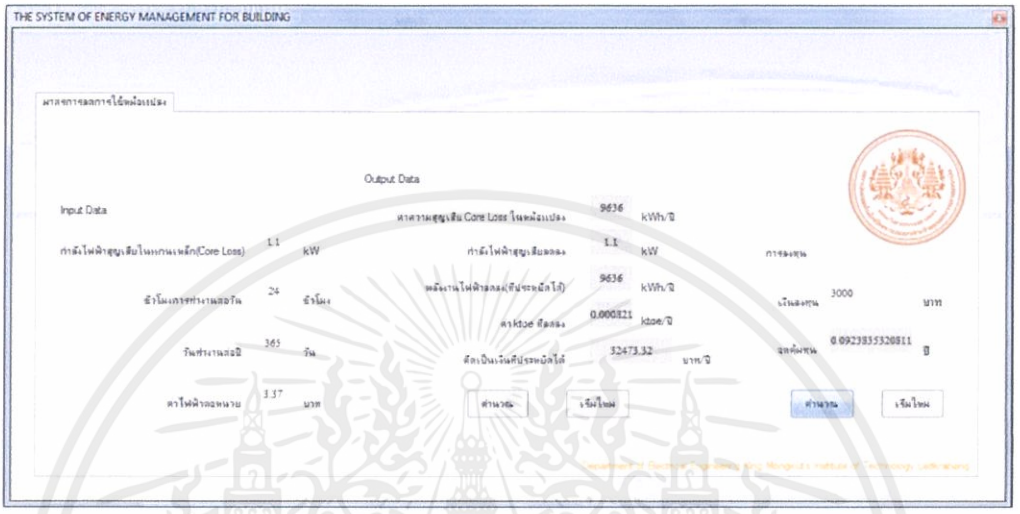
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณด้านการลงทุน

เมื่อคำนวณด้านอนุรักษ์พลังงานเสร็จแล้วก็จะต้องมาคำนวณด้านการลงทุนซึ่งต้องกรอกข้อมูลอินพุท คือ

- เงินลงทุน

เมื่ออินพุทค่าเสร็จแล้วนำเมาท์ไปคลิกที่ปุ่ม CommandButton คำนวณ ที่อยู่ส่วนข้างล่างของหน้าต่างโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การคำนวณด้านการลงทุนมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

3.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษา

3.2.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษามาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

<u>กรณีศึกษา :การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า</u>

<u>ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</u>

สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ลูกคือ MDB 1 และ MDB 2 ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีค่าแรงดันไฟฟ้า 403 V และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ค่อนข้างต่ำคือที่ MDB 1 มีค่า 0.81 และMDB 2 มีค่า 0.78 จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานมีค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 1,100 kWปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุงเนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ตู้ MDB เสียทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าจึงต้องมีการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก 0.81 และ 0.78 ให้สูงขึ้นโดยการติดตั้งตัวเก็บประจุใหม่(Capacitor) ที่ภาระรวม MDB 1 และ MDB 2 จะทำให้กระแสไฟฟ้าและการสูญเสียในขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลง

<u>แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ</u>

ติดตั้งตัวเก็บจุที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.81 และ 0.78 ให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่า 0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพหลังปรับปรุง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 มีค่าเท่ากับ 0.90 และ 0.96 ตามลำดับทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลง

หลังปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการเดือนธันวาคมพ.ศ. 2550

เงินลงทุน 240,000.00 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ 91,584.00 kWh/ปีคิดเป็น 0.0078 ktoe/ปี

ผลประหยัดที่ได้ 262,846.08 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน 0.91 ปี

ข้อเสนอแนะ

ทางบริษัทควรตรวจสอบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อย่างสม่ำเสมอถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.85 ให้รีบดำเนินการแก้ไขทันที

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตู้ MDB 1

เปอร์เซ็นต์การประหยัด = [1 - (PFเดิม / PFใหม่)2] x 100

= [1 - (0.81 / 0.90)2] x 100

ดังนั้นสามารถลดการสูญเสียในแกนเหล็กลงมาได้ = 19 %

หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียในแกนเหล็กเท่ากับ 24 kW

ดังนั้นถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้

พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 24 x 0.19 kW

= 4.56 kW

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = kWที่ประหยัด x ชั่วโมงทำงานต่อวัน x วันทำงานต่อปี

= 4.56 x 24 x 300 kWh/ปี

= 32,832 kWh/ปี

จำนวนเงินที่ประหยัด = 32,832.00 x 2.87 บาท/ปี

= 94,227.84 บาท/ปี

ตู้ MDB 2

เปอร์เซ็นต์การประหยัด = [1 - (PFเดิม / PFใหม่)2] x 100

= [1 - (0.78 / 0.96)2] x 100

= 34 %

หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่ Copper loss เท่ากับ 24 kW

ดังนั้นถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้

พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 24 x 0.34 kW

= 8.16 kW

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = kWที่ประหยัด x ชั่วโมงทำงานต่อวัน x วันทำงานต่อปี

= 8.16 x 24 x 300 kWh/ปี

= 58,752 kWh/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเงินที่ประหยัด = 58,752 x 2.87 บาท/ปี
= 168,618.24 บาท/ปี
รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = 32,832 + 58,752 kWh/ปี
= 91,584 kWh/ปี
รวมจำนวนเงินที่ประหยัด = 94,227.84 + 168,618.24 บาท/ปี
= 262,846.08 บาท/ปี

<u>การลงทุน</u>

ตู้ MDB 1

1.ก่อนปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.81

$\cos\theta_1 = 0.81°$, $\theta_1 = 35.90°$

2.หลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.95

$\cos\theta_2 = 0.90°$, $\theta_2 = 25.84°$

3. ขนาดของ Capacitor = ภาระไฟฟ้าจริง x $(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$
= kW x $(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$
=1,100 x (tan 35.90°- tan 25.84°)
= 263.56 kVar

ตู้ MDB 2

1.ก่อนปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.78

$\cos\theta_1 = 0.78°$, $\theta_1 = 38.74°$

2.หลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.96

$\cos\theta_2 = 0.96°$, $\theta_2 = 16.26°$

3. ขนาดของ Capacitor =ภาระไฟฟ้าจริง x $(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$
= kW x $(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$
= 1,100 x (tan 38.74°- tan 16.26°)
= 561.70 kVar

ตู้ MDB 1

ติดตั้งตัวเก็บประจุ 300 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 6 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท
รวมเป็นเงิน 80,000 บาท

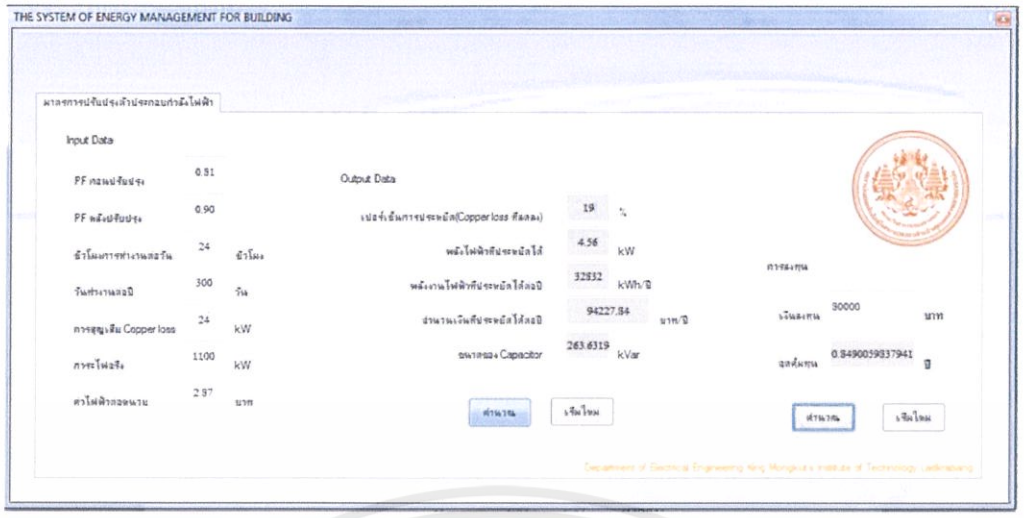
ตู้ MDB 2

ติดตั้งตัวเก็บประจุ 600 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 12 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท
รวมเป็นเงิน 160,000 บาท

รวมเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น 240,000 บาท

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมดังรูปที่ 3.16 และ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับปรุง
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (MDB1)

รูปที่ 3.17 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับปรุง
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (MDB2)

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณกรณีศึกษา

3.2.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษามาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

<u>กรณีศึกษาที่ปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้า</u>

สถานประกอบการแห่งหนึ่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2000 kVA จำนวน 3 ชุดใช้งาน 11 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี

<u>ปัญหาของอุปสรรค์ / ระบบก่อนปรับปรุง</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าปลายทางของหม้อแปลงไฟฟ้า (หลังจากรวมโหลดแล้ว) พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าเท่ากันทั้งสองชุดที่ 398 Volts โดยที่วัดแรงดันต้นทางได้ 406 Volts

<u>แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</u>

หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงการสูญเสียในแกนเหล็กของตัวหม้อแปลงไฟฟ้าจะสูงตามถ้าสามารถลดแรงดันที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าลง 1 แทป (เท่ากับ 10 Volts) จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้

<u>สภาพหลังปรับปรุง</u>

ระยะเวลาดำเนินงาน : ทุกๆวัน

ผลประหยัดที่ได้ : 6,434.83 บาท/ปีคิดเป็น 0.00018 ktoe/ปี

ไม่ต้องใช้เงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุนทันที

<u>วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน</u>

Core loss TR1 และ TR3 ลดลง = 2.378 x [(406/396)2 -1] x 24 x 365 x 2

= 2,130.74 kWh/ ปี

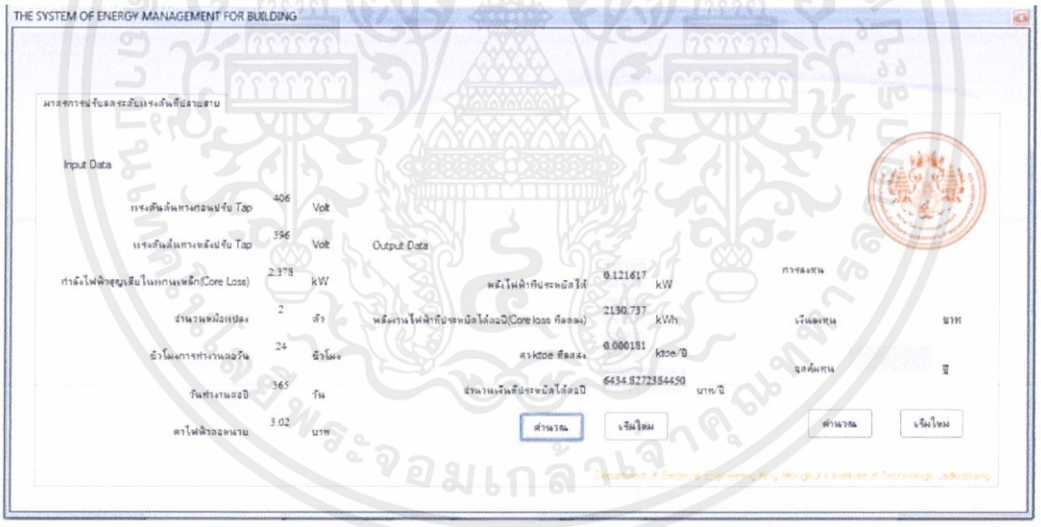
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ =2,130.74 x 3.02

=6,434.83 บาท/ปี

ค่าktoeที่ลดลง = 2,130.74 x 85.21 x 10^{-9}

= 0.00018 ktoe/y

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับลดระดับแรงดันที่ปลายสาย

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณกรณีศึกษา

3.2.3 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษามาตรการมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่:

ปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งาน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้พลังงาน

สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด 7 ลูกพิกัดติดตั้งรวม 4,600 kVA สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิตของโรงงาน

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA จำนวน 3 ลูก ซึ่งแยกจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เครื่องผสมยาง 3 ชุดซึ่งปัจจุบันเครื่องผสมยางได้ชำรุดไป 1 ชุดและต้องใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมค่อนข้างนานมากซึ่งส่งผลทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้จ่ายโหลดไป 1 ลูกเช่นกันแต่ยังคงเกิดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตลอดเวลา

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

เนื่องจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ไม่ได้จ่ายโหลดเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรูปของความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (No Load Loss; Core Loss) ดังนั้นหากสามารถทำการปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงดังกล่าวได้ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้อีกหนทางหนึ่งเช่นกัน

ขั้นตอนในการดำเนินการ

1. ตรวจสอบแผนผังระบบไฟฟ้า (Single Line Diagram) ของโรงงานเพื่อศึกษาการทำงานจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละลูก
2. ดำเนินการปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก
3. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากดำเนินการปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงขนาด 500 kVA ที่ไม่ได้ใช้งานในการจ่ายโหลดให้แก่เครื่องจักรแล้วทำให้สามารถลดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงลูกดังกล่าวได้ การปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานระยะเวลาดำเนินการ 2 สัปดาห์ผลประหยัดที่ได้ 32,473.32 บาท/ปี คิดเป็น 0.00082 ktoe/ปี ไม่ต้องใช้เงินลงทุนระยะเวลาคืนทุนทันที

ข้อเสนอแนะ

ควรมีแผนการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของโรงงานอย่างสม่ำเสมอและอาจต้องจัดทำระบบการตรวจเช็คสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าชุดที่ปลดด้านแรงสูงออกเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวหม้อแปลงเมื่อไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ข้อมูลเบื้องต้น

พิกัดติดตั้งของหม้อแปลง	= 500	kVA
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก	= 1.10	kW
ระยะเวลาการใช้งาน	= 24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	= 365	วัน/ปี
	= 8,760	ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	= 3.37	บาท/kWh

ก่อนปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง = Core loss rated x ชั่วโมงใช้งานหม้อแปลง

= 1.1 x 24 x 365

= 9,636 kWh/ปี

<u>หลังปรับปรุง</u>: ปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง = 1.10 kW

พลังงานไฟฟ้าลดลง = 9,636 kWh/ปี

<u>ผลการประหยัด</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 9,636 kWh/ปี

= 0.00082 ktoe/ปี

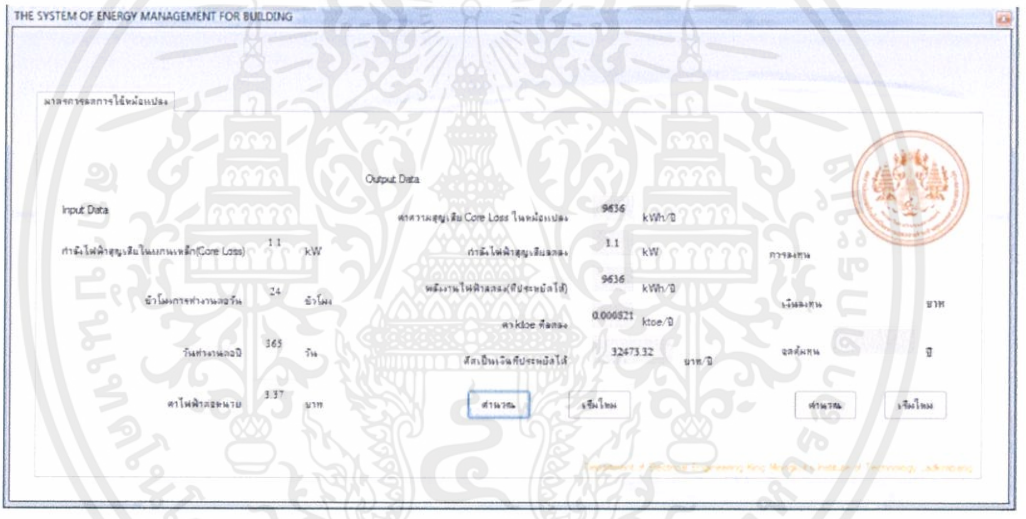
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 9,636 x 3.37

= 32,473.32 บาท/ปี

<u>การวิเคราะห์ทางการเงิน</u>

ไม่ต้องใช้เงินลงทุนสามารถดำเนินการได้เลยระยะเวลาคืนทุนทันที

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมดังรูปที่ 3.19



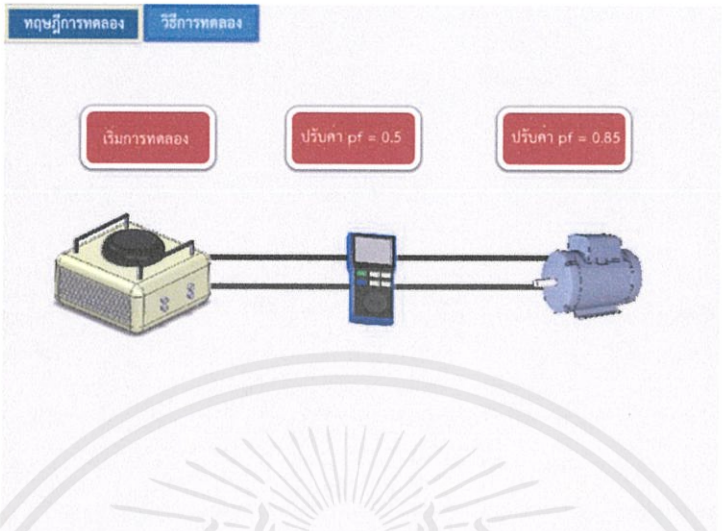
รูปที่ 3.19 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมการเรียนรู้ภาคทฤษฎี (Theoretical Learning)

3.3.1 การทดลองเรื่องการค่าปรับตัวประกอบกำลัง

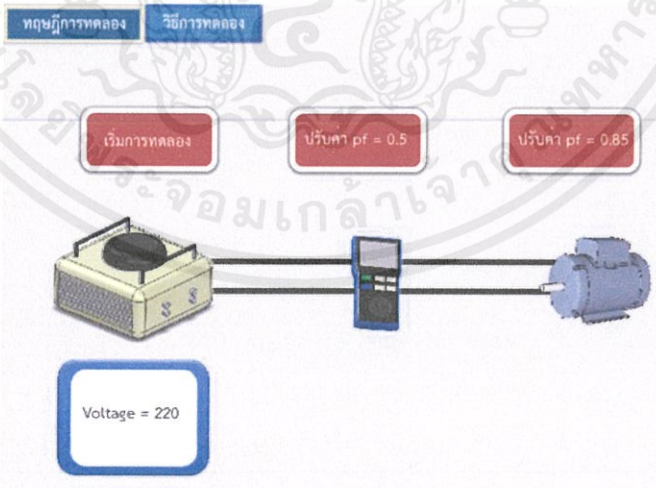


รูปที่ 3.20 หน้าต่างใช้งานการทดลองเรื่องการปรับค่าตัวประกอบกำลัง

จากรูปที่ 3.20 จะเป็นหน้าต่างการทดลองเรื่องการปรับค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งมีปุ่มใช้งานดังต่อไปนี้

1.ปุ่มทฤษฎีการทดลอง
2.ปุ่มวิธีการทดลอง
3.ปุ่มเริ่มการทดลอง
4.ปุ่มปรับค่า pf = 0.5
5.ปุ่มปรับค่า pf = 0.85

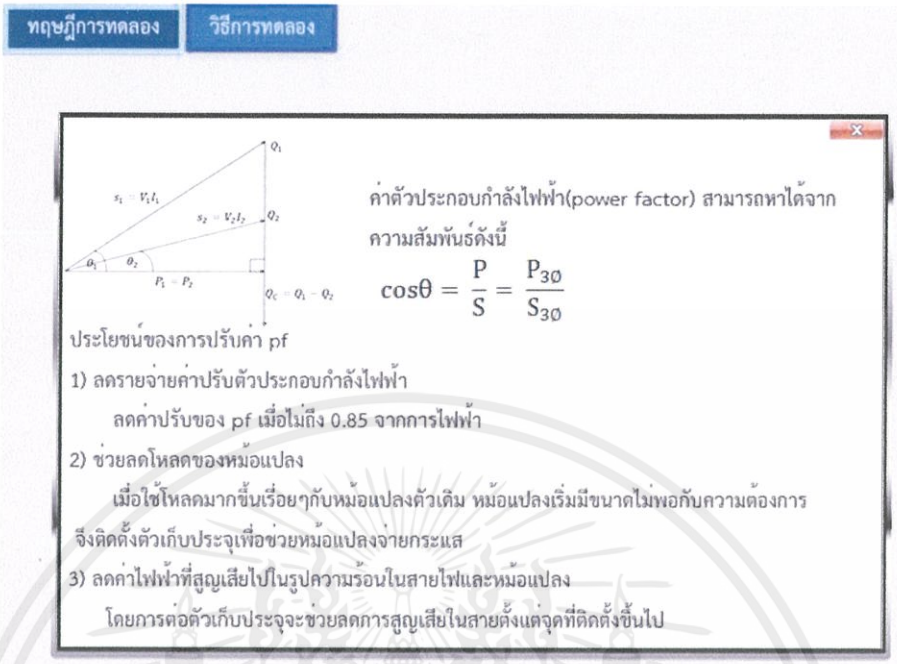
- เมื่อนำเมาส์ไปชี้อุปกรณ์ต่างๆจะแสดงค่าของพิกัด ตามรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 หน้าต่างใช้งานเมื่อนำเมาส์ไปชี้อุปกรณ์

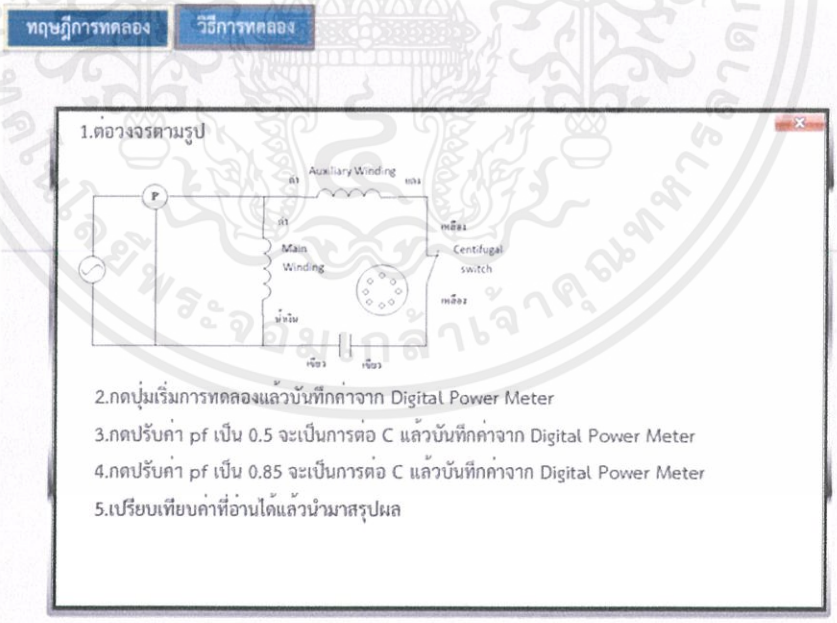
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกดปุ่มทฤษฎีการทดลองจะปรากฏภาพดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 หน้าต่างทฤษฎีการทดลอง

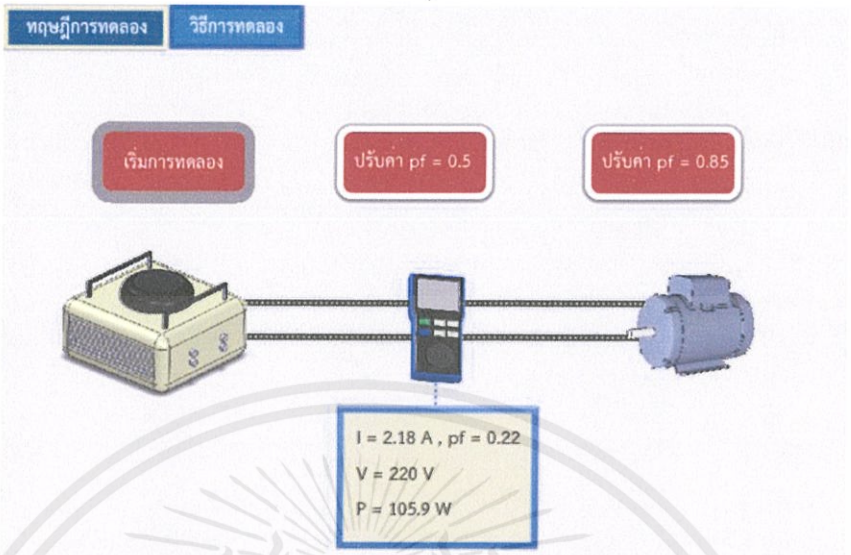
- เมื่อกดปุ่มวิธีการทดลองจะปรากฏภาพดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 หน้าต่างวิธีการทดลอง

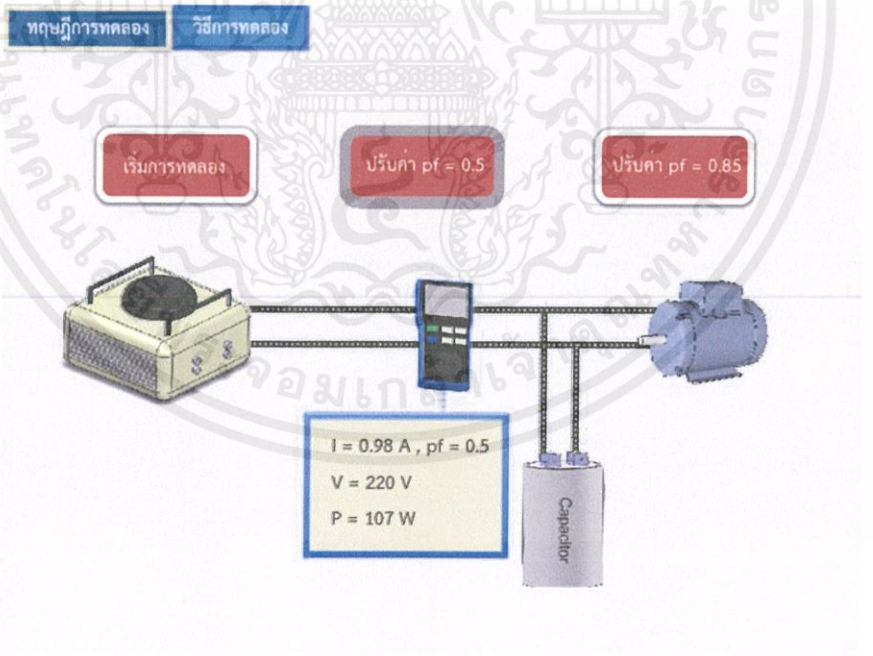
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกดปุ่มเริ่มการทดลองจะปรากฏ ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มเริ่มการทดลอง

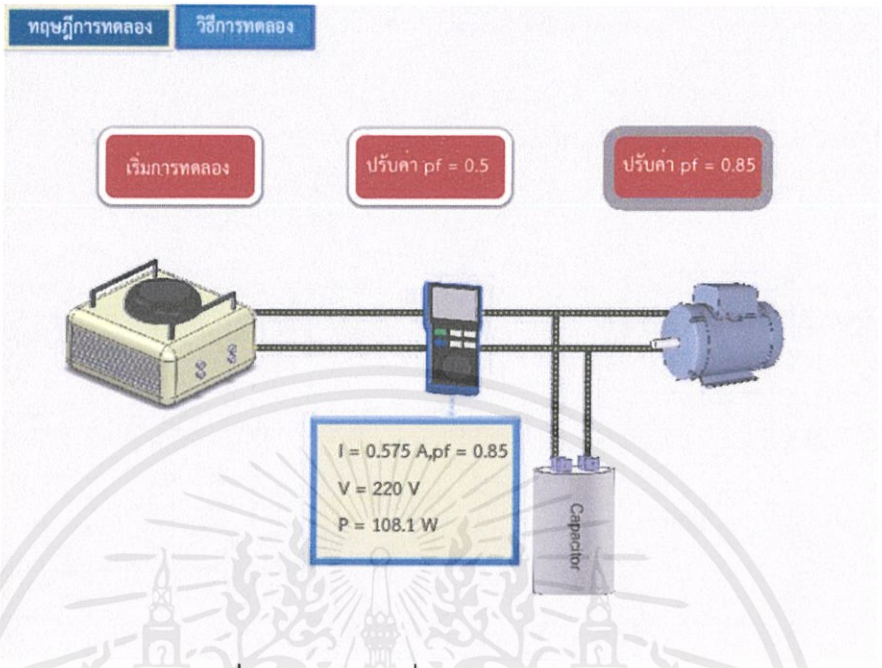
- เมื่อกดปุ่มปรับค่า pf = 0.5 จะปรากฏ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มปรับค่า pf = 0.5

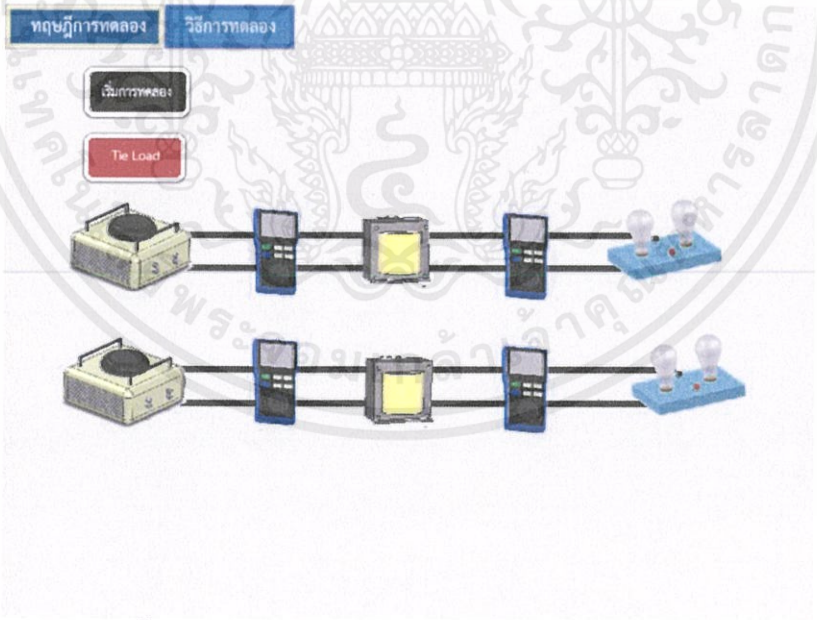
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มปรับค่า pf = 0.85 จะปรากฏดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มปรับค่า pf = 0.85

3.3.2 การทดลองเรื่องการ tie หม้อแปลง



รูปที่ 3.27 หน้าต่างใช้งานการทดลองเรื่องการ tie หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.27 จะเป็นหน้าต่างการใช้งานการทดลองเรื่อง tie หม้อแปลง ซึ่งมีปุ่มใช้งานดังต่อไปนี้

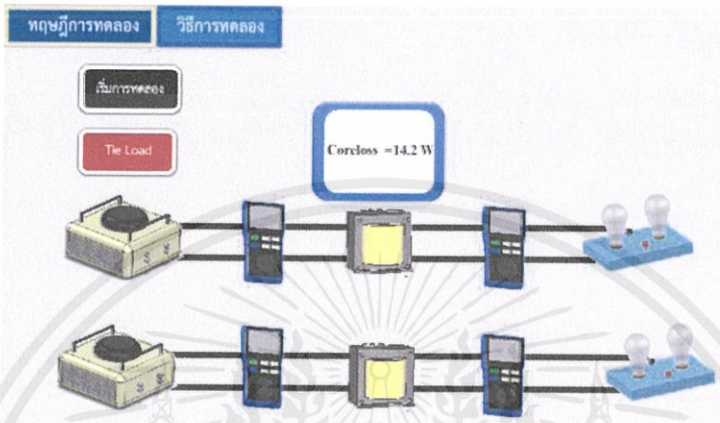
1.ปุ่มทฤษฎีการทดลอง

2.ปุ่มวิธีการทดลอง

3.ปุ่มเริ่มการทดลอง

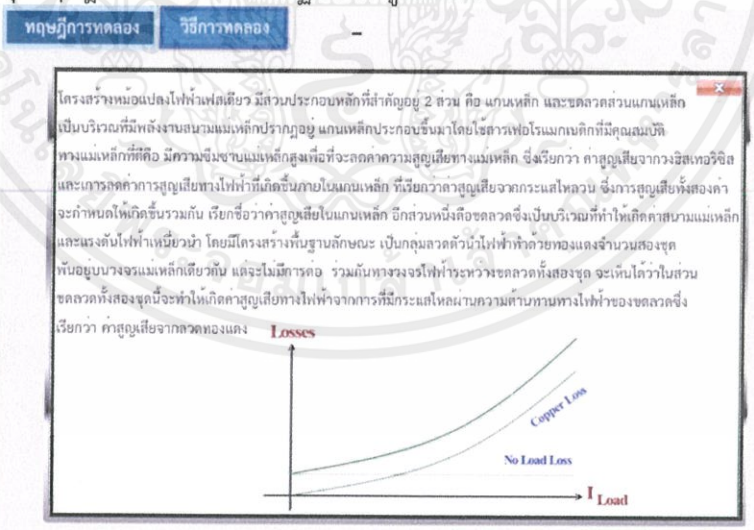
4.ปุ่ม Tie Load

- เมื่อนำเมาส์ไปชี้อุปกรณ์ต่างๆจะแสดงค่าของพิกัด ตามรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 หน้าต่างใช้งานเมื่อนำเมาส์ไปชี้อุปกรณ์

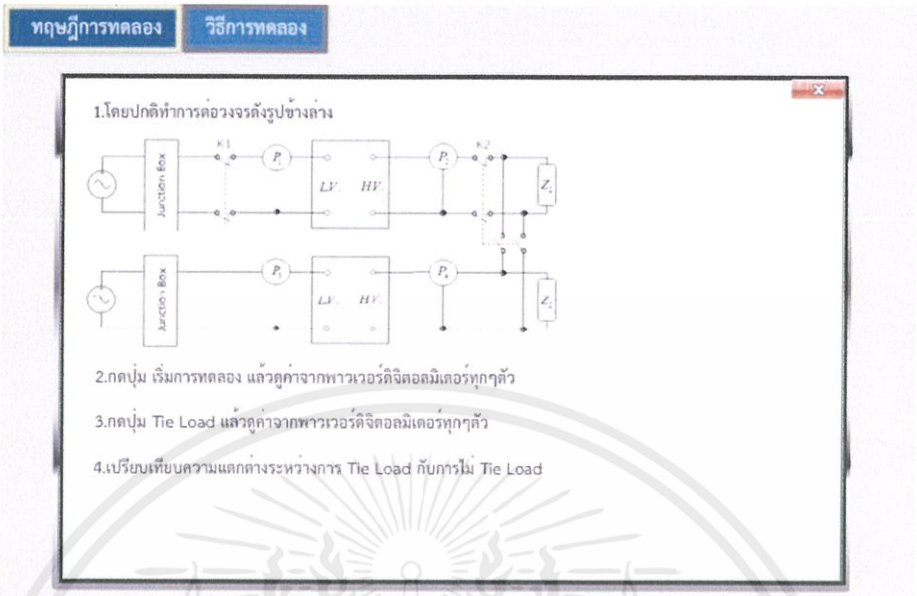
- เมื่อกดปุ่มทฤษฎีการทดลองจะปรากฏภาพดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 หน้าต่างทฤษฎีการทดลอง

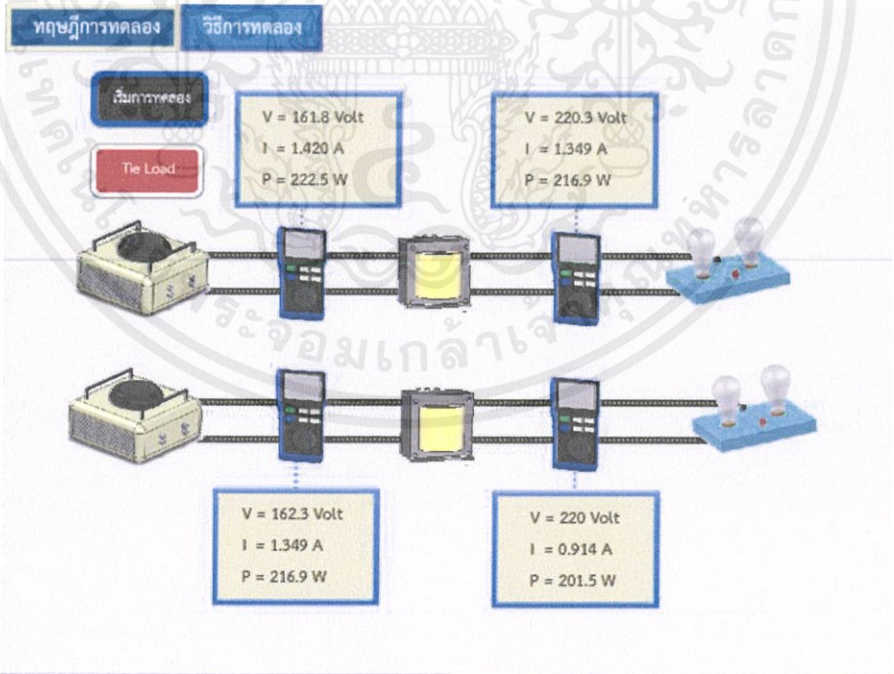
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกดปุ่มวิธีการทดลองจะปรากฏภาพดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 หน้าต่างวิธีการทดลอง

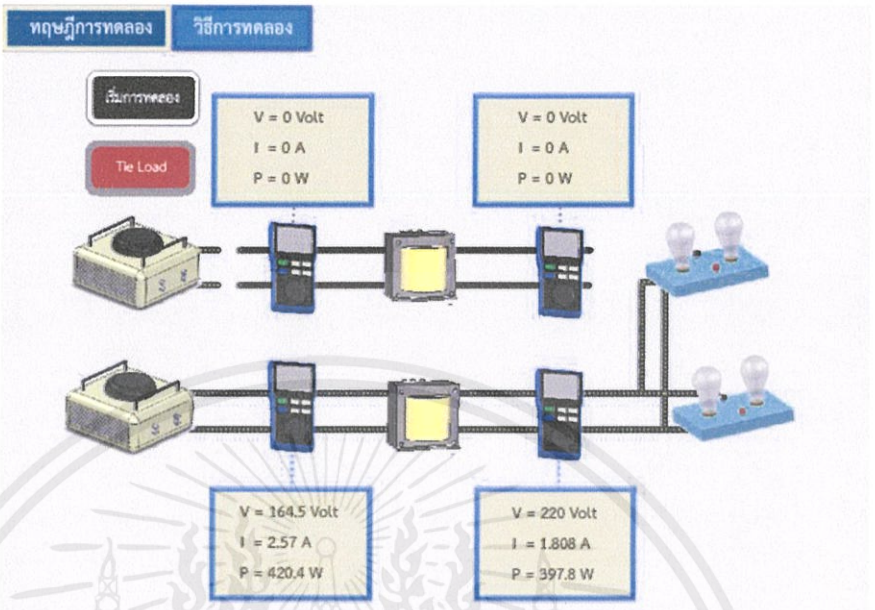
- เมื่อกดปุ่มเริ่มการทดลองจะปรากฏภาพดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 หน้าต่างเมื่อกดปุ่มเริ่มการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกดปุ่มเริ่ม Tie Load จะปรากฏภาพดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 หน้าต่างเมื่อกดปุ่ม Tie Load

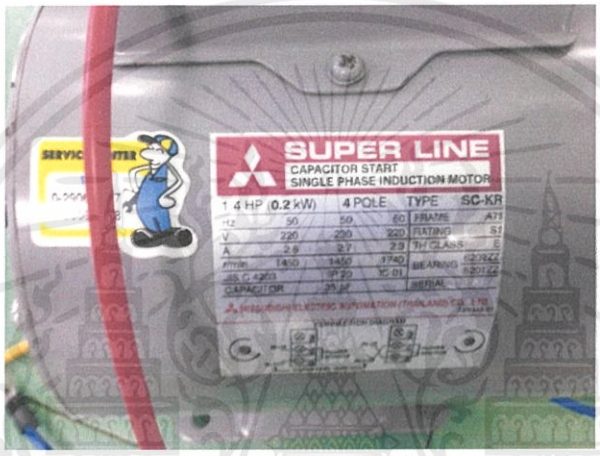
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และ ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองโดยอาศัยโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคารช่วยในการออกแบบและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง

4.1 การออกแบบชุดทดลองการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เป้าหมายในหัวข้อนี้คือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 ที่ได้จากการวัดค่าโหลดมอเตอร์ 1 เฟส ให้เป็นค่า 0.5 และ 0.85 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

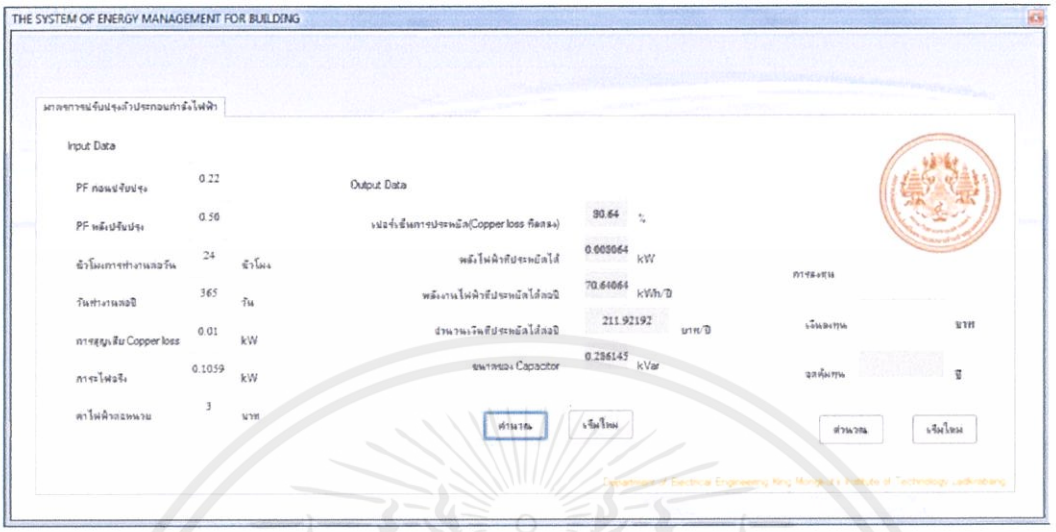


รูปที่ 4.1 โหลดมอเตอร์ 1 เฟส

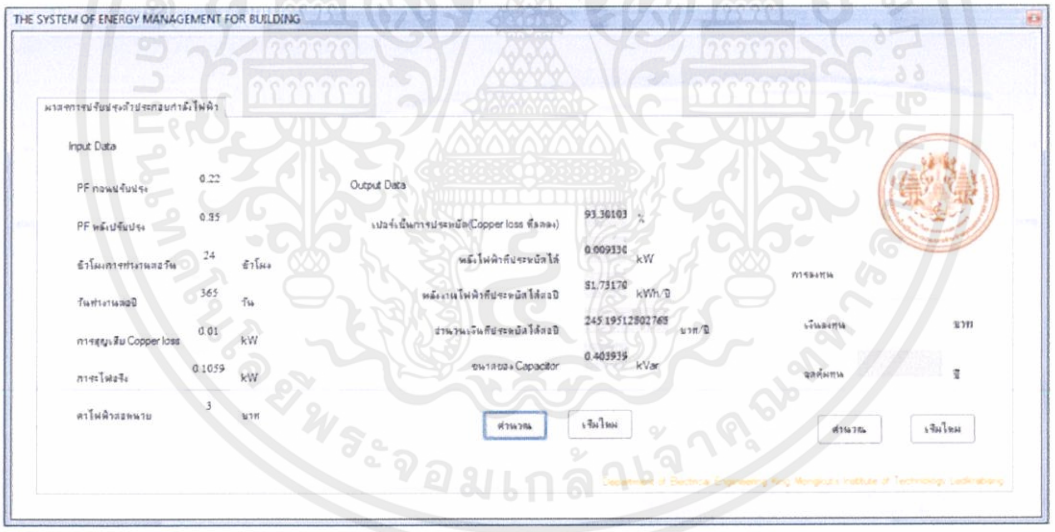
รูปที่ 4.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากมอเตอร์ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.50 และ 0.85 ตามลำดับโดยใช้โปรแกรมโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคารดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ใช้โปรแกรมคำนวณหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.50



รูปที่ 4.4 ใช้โปรแกรมคำนวณหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.85

ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.50 และ 0.85 คือ 0.286 kVar และ 0.40394 kVar ตามลำดับจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าขนาดตัวเก็บประจุที่อยู่ในหน่วยไมโครฟารัดโดยใช้สูตรการคำนวณ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_c = \frac{V^2}{Q}$$

โดยที่ X_c = ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็นโอห์ม
V = ค่าแรงดันที่ใช้งานหน่วยเป็นโวลต์
Q = ค่าขนาดตัวเก็บประจุที่จะนำมาคำนวณมีหน่วยเป็นวาร์

จากนั้นนำค่า X_c ที่ได้จากการคำนวณมาหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุจากสูตร

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

โดยที่ C = ค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็นฟารัด
f = ค่าความถี่ใช้งานมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
X_c = ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็นโอห์ม

ตัวเก็บประจุขนาด 0.286 kVar คำนวณได้ดังนี้ V = 220 V Q = 286 Var จากนั้นแทนค่าลงในสูตร

$$X_c = \frac{V^2}{Q}$$

$$X_c = \frac{220^2}{286}$$

$$X_c = 169.2307 \text{ โอห์ม}$$

จากนั้นนำค่าที่ได้แทนลงในสูตร

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 169.2307}$$

$$C = 1.8809 \times 10^{-5} \text{ F}$$

$$C - 18.809 \text{ uF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุขนาด 0.40394 kVar คำนวณได้ดังนี้ V = 220 V Q = 403.94 Var จากนั้นแทนค่าลงในสูตร

$$X_c = \frac{V^2}{Q}$$

$$X_c = \frac{220^2}{403.94}$$

$$X_c = 119.82 \text{ โอห์ม}$$

จากนั้นนำค่าที่ได้แทนลงในสูตร

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 119.82}$$

$$C = 2.6565 \times 10^{-5} \text{ F}$$

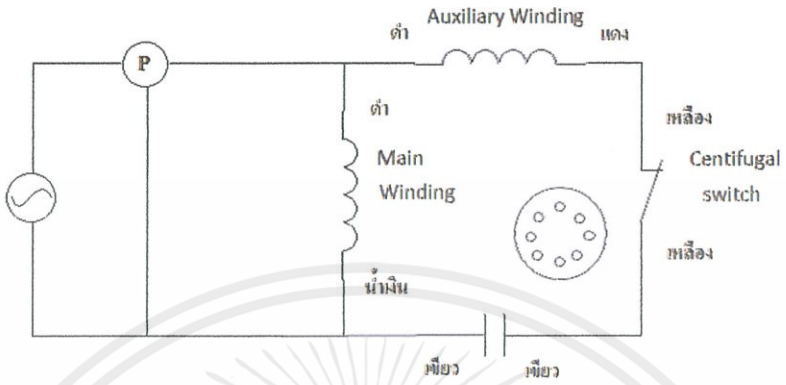
$$C = 26.565 \text{ uF}$$

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาขนาดของตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้ คือ ขนาด 18 uF และ 27 uF มาใช้ในการทดลองการหาค่าตัวประกอบประกอบกำลังไฟฟ้าจากเอกสารการทดลอง ดังต่อไปนี้

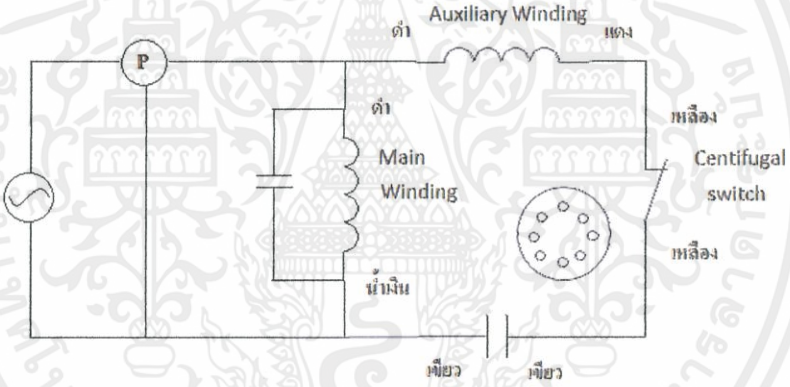
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดลองปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.5 วงจรที่ยังไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.6 วงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าเฟสเดียวปรับค่าได้ 0-250 V
2) พาวเวอร์มิเตอร์กระแสสลับ
3) โวลต์มิเตอร์กระแสสลับ
4) แอมมิเตอร์กระแสสลับ
5) ตัวเก็บประจุ C_1 ขนาด 18 uF และ C_2 ขนาด 27 uF
6) มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 105.9 W ที่พิกัดแรงดัน 220 V
7) แผงจุดต่อวงจรไฟฟ้า
8) สายไฟต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 4.5

2) ป้อนแรงดันเข้ามอเตอร์ไฟฟ้า 220 V และบันทึกค่าแรงดัน กระแส และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ลงในตาราง

3) ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 2 แต่ทำการต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในวงจรตามรูปที่ 4.6

4) ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 3 แต่เปลี่ยนขนาดตัวเก็บประจุ

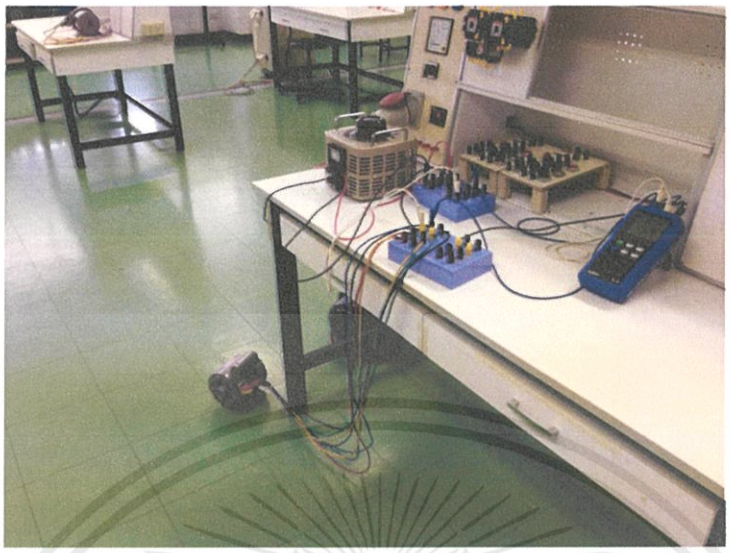
5) สรุปผล

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

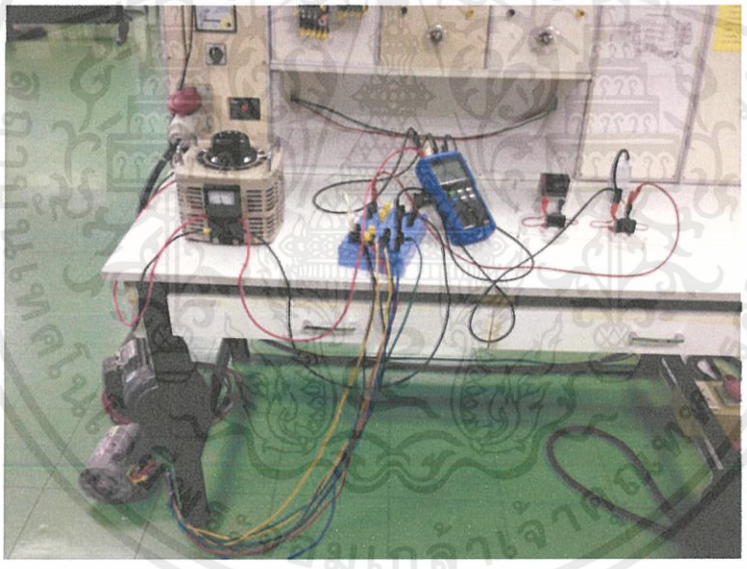
	แรงดัน(V)	กระแส(I)	P	Pf ที่วัดได้	Pf ที่ได้จากการคำนวณ
ไม่มีตัวเก็บประจุ	220	2.18	105.9	0.22	
C_1	220	0.992	107	0.49	0.5
C_2	220	0.584	108	0.84	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการทดลอง



รูปที่ 4.7 การทดลองต่อวงจรที่ไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.8 การทดลองต่อวงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ผลการทดลองที่วัดได้ขณะไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ

รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่วัดได้ขณะมีการต่อตัวเก็บประจุ 18 ไมโครฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่วัดได้ขณะมีการต่อตัวเก็บประจุ 27 ไมโครฟารัด

4.1.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จะเห็นว่าโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคารสามารถใช้งานได้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2 การออกแบบชุดทดลองการลดการใช้หม้อแปลง

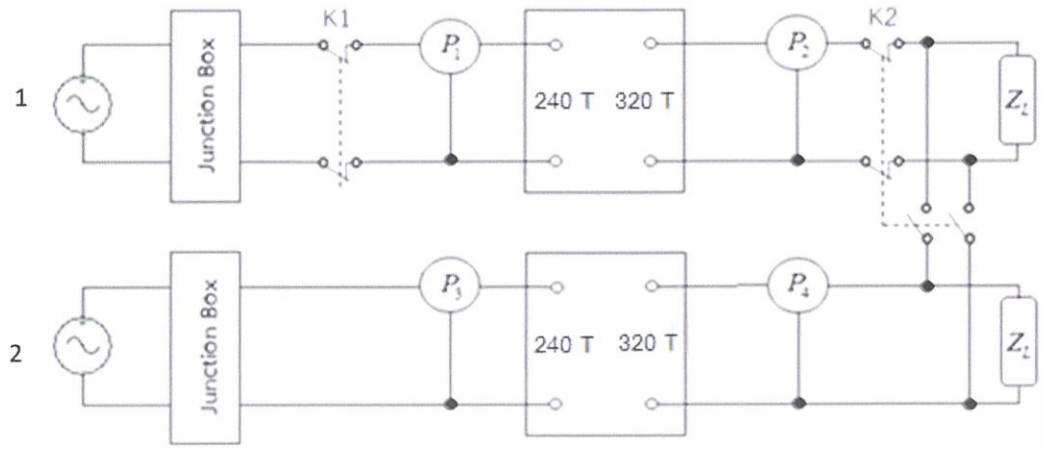
เป้าหมายในหัวข้อนี้คือเพื่อให้มีความเข้าใจถึงผลดีของการปลดหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวที่ไม่จำเป็นและเพื่อให้มีความเข้าใจถึงการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวดังเอกสารการทดลองต่อไปนี้

4.2.1 การทดลองการลดการใช้หม้อแปลง

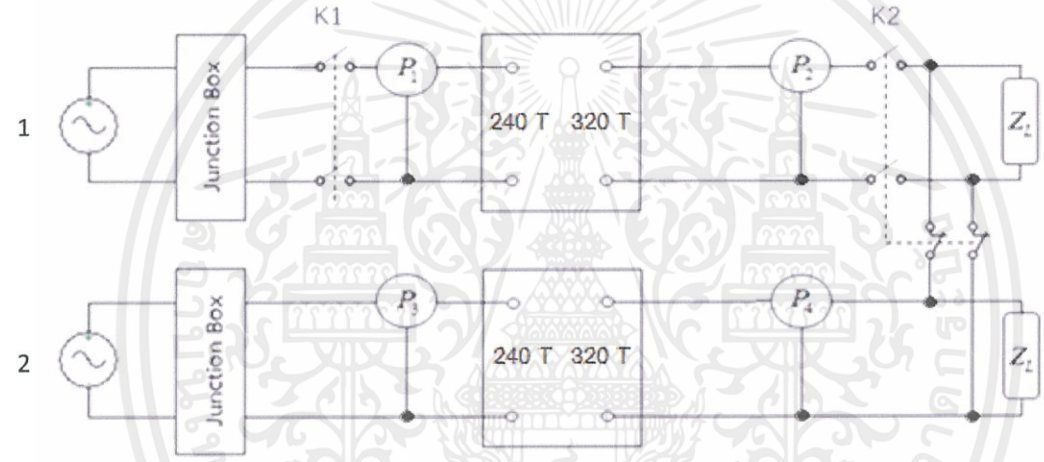
การทดลองเรื่อง การหาค่าสูญเสียในการปลดหม้อแปลง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.12 แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2
2. ทำการกดสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ ให้วงจรเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 5 แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ



รูปที่ 4.13 วงจรเมื่อทำการสับสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์

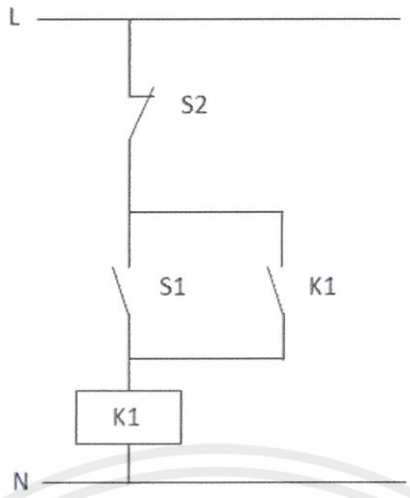
โดย หม้อแปลงตัวที่ 1 (สีเหลือง) มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อใช้งานที่แรงดันปฐมภูมิที่ 161.8 V เท่ากับ 24.1 W

หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง) มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อใช้งานที่แรงดันปฐมภูมิที่ 162.3 V เท่ากับ 13.9 W

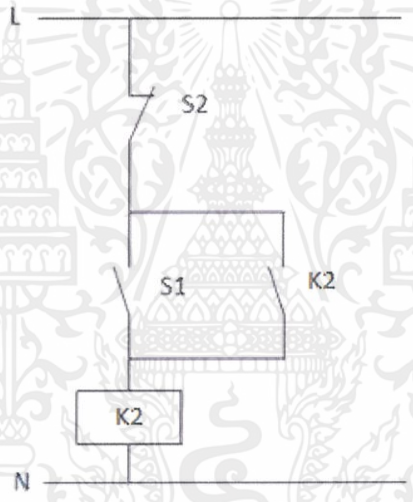
หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง) มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อใช้งานที่แรงดันปฐมภูมิที่ 164.5 V เท่ากับ 14.2 W

<u>หมายเหตุ</u> แรงดันที่ใช้งานด้านทุติยภูมิเท่ากับ 220V และเราจะทำการใช้สวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ช่วยให้การทดลองสะดวกขึ้น โดยมีวงจรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์



รูปที่ 4.15 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลงกรณีใช้หม้อแปลง 2 ตัวจ่ายโหลดแต่ละชุดแยกกัน

หม้อแปลงตัวที่ 1 (สีเหลือง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_1	161.8 Volt
I_1	1.420 A
$P_{1(input)}$	222.5 W
$\cos\theta_1$	0.97
V_2	220.3 Volt
I_2	0.886 A
$P_{2(output)}$	195.2 W
$\cos\theta_2$	1

หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_3	162.3 Volt
I_3	1.349 A
$P_{3(input)}$	216.9 W
$\cos\theta_3$	0.99
V_4	220.0 Volt
I_4	0.914 A
$P_{4(output)}$	201.5 W
$\cos\theta_4$	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลงกรณีใช้หม้อแปลง 1 ตัวจ่ายโหลด (วงจรเมื่อทำการ Tie Load แล้ว)

หม้อแปลงตัวที่ 1 (สีเหลือง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_1	-
I_1	-
$P_{1(input)}$	-
$\cos\theta_1$	-
V_2	-
I_2	-
$P_{2(output)}$	-
$\cos\theta_2$	-

หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_3	164.5 Volt
I_3	2.57 A
$P_{3(input)}$	420.4 W
$\cos\theta_3$	1
V_4	220.0 Volt
I_4	1.808 A
$P_{4(output)}$	397.8 W
$\cos\theta_4$	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่า Cu loss

กรณีที่ 1 ใช้หม้อแปลง 2 ตัว จ่าย load แต่ละชุดแยกกัน

จากสูตร $P_{in} = P_{out} + P_{Cu\ loss} + P_{Core\ loss}$

แทนค่า P_{in}= 222.5 W P_{out}= 195.2 W $P_{Core\ loss}$= 24.1 W ค่าที่วัดได้จากหม้อแปลงตัวที่ 1
P_{in}= 216.9 W P_{out}= 201.5 W $P_{Core\ loss}$= 13.9 W ค่าที่วัดได้จากหม้อแปลงตัวที่ 2

แทนค่าลงในสูตร $P_{in} = P_{out} + P_{Cu\ loss} + P_{Core\ loss}$

หาค่า Cu loss ของหม้อแปลงตัวที่ 1

$$222.5 = 195.2 + P_{Cu\ loss} + 24.1$$
$$P_{Cu\ loss} = 3.2\ \text{W}$$

หาค่า Cu loss ของหม้อแปลงตัวที่ 2

$$216.9 = 201.5 + P_{Cu\ loss} + 13.9$$
$$P_{Cu\ loss} = 1.5\ \text{W}$$

$P_{Cu\ loss\ ทั้งหมด} = 4.7$ W

กรณีที่ 2 ใช้หม้อแปลง 2 ตัว จ่าย load ทั้งหมด (วงจรเมื่อทำการ Tie Load แล้ว)

แทนค่า P_{in}= 420.4 W P_{out}= 397.8 W $P_{Core\ loss}$= 14.2 W ค่าที่วัดได้จากหม้อแปลงตัวที่ 2

หาค่า Cu loss ของหม้อแปลงตัวที่ 2

$$420.4 = 397.8 + P_{Cu\ loss} + 14.2$$
$$P_{Cu\ loss} = 8.4\ \text{W}$$

$P_{Cu\ loss\ ทั้งหมด} = 8.4$ W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าผลประหยัด

กรณีที่ 1 ใช้หม้อแปลง 2 ตัว จ่าย load แต่ละชุดแยกกัน

Core loss หม้อแปลงตัวที่ 1 (สีเหลือง) การทดลองรูปที่ 4.16 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ

$$P_c = 24.1 \text{ W}$$

Core loss หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง) การทดลองรูปที่ 4.16 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ

$$P_c = 13.9 \text{ W}$$

กรณีที่ 2 ใช้หม้อแปลง 1 ตัวจ่าย load ชุดเดียว (กรณี Tie load แล้ว)

Core loss หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง) การทดลองรูปที่ 4.13 วงจรเมื่อทำการสับสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์

$$P_c = 14.2 \text{ W}$$

ดังนั้น Core loss ที่ลดลงเท่ากับ $P_c = (24.1+13.9)-14.2$ W

$$P_c = 23.8 \text{ W}$$

และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาผลประหยัดจากสูตร

ผลประหยัดต่อปี $= P_c \times$ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน $\times$ วันทำงานต่อปี $\times$ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

กำหนดให้ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน = 24 ชั่วโมง
วันทำงานต่อปี = 300 วัน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 3 บาท
ผลประหยัดต่อปี = 0.0238×24×300×3
= 514.08 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าผลประหยัดทั้งหมด (กรณี Tie Load แล้วคิดทั้ง Cu loss และ Core loss)

จากสูตร

ผลประหยัดต่อปี $= P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}} \times$ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน $\times$ วันทำงานต่อปี $\times$ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

คำนวณหา $P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}}$ จาก $P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}} = P_{core\ loss\ \text{ที่ลดลงทั้งหมด}} - P_{cu\ loss\ \text{ทั้งหมด}}$

$$P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}} = 23.8\text{-}8.4$$

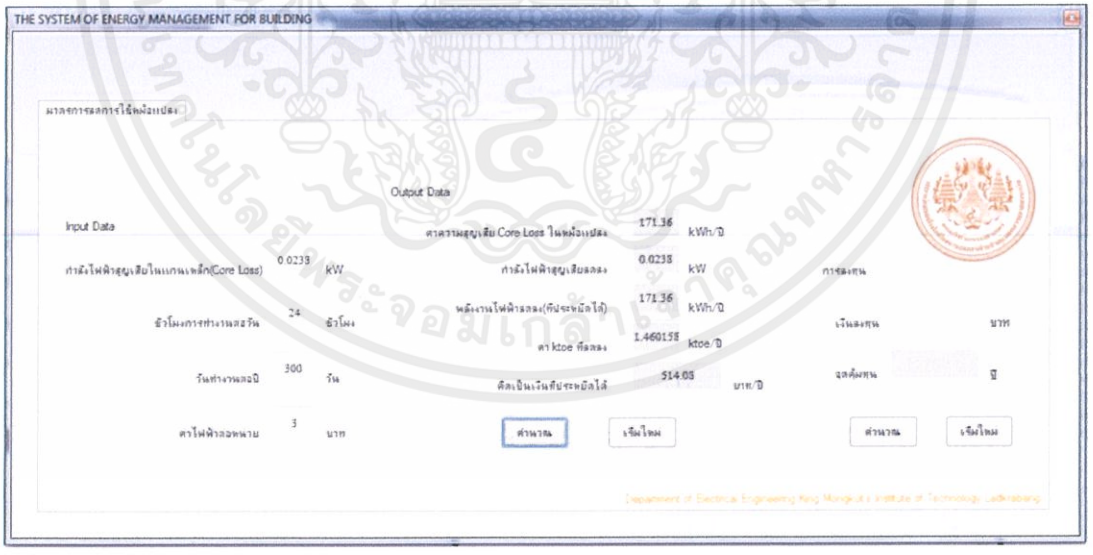
$$P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}} = 15.4\ \text{W}$$

แทนค่า $P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}}$ ลงในสูตร

ผลประหยัดต่อปี $= P_{\text{ที่ลดลงทั้งหมด}} \times$ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน $\times$ วันทำงานต่อปี $\times$ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

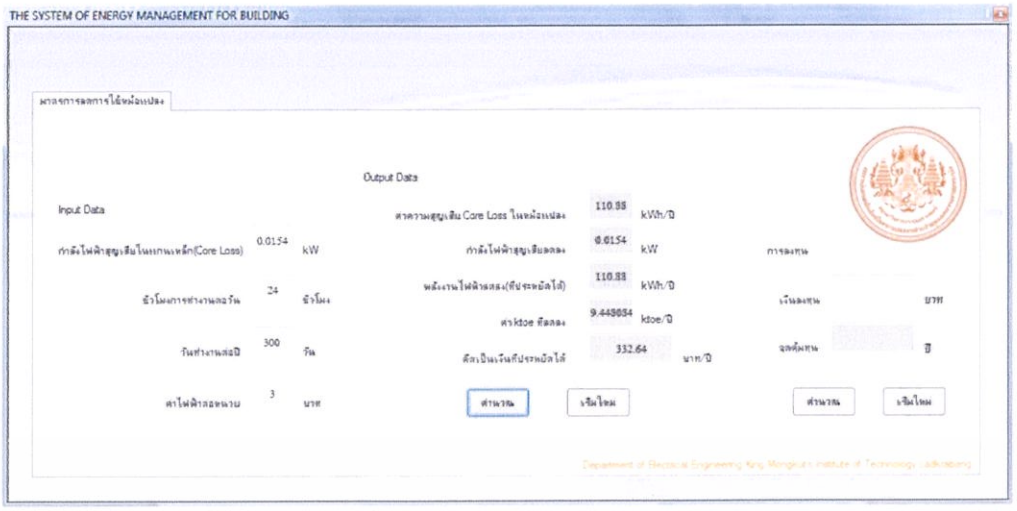
กำหนดให้ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน = 24 ชั่วโมง
วันทำงานต่อปี = 300 วัน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 3 บาท
ผลประหยัดต่อปี = 0.0154×24×300×3
= 332.64 บาทต่อปี

การคำนวณโดยใช้โปรแกรม



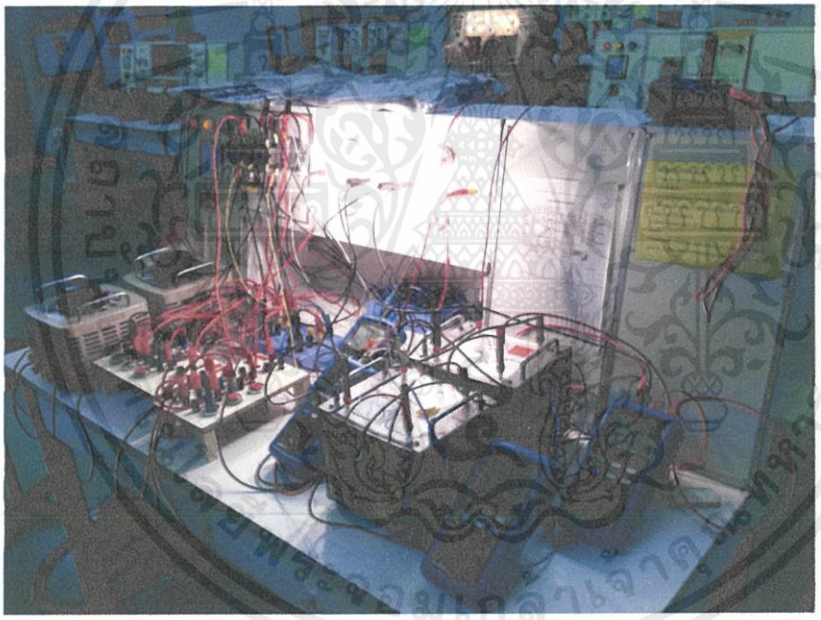
รูปที่ 4.16 โปรแกรมคำนวณผลประหยัดมาตรการลดการใช้หม้อแปลงจากข้อมูลการทดลอง (คิดแต่ค่า Core loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 โปรแกรมคำนวณผลประหยัดมาตรการลดการใช้หม้อแปลงจากข้อมูลการทดลอง (คิดแต่ค่าทั้ง Cu loss และ Core loss)

ภาพการทดลอง



รูปที่ 4.18 วงจรที่ต่อดังรูป 4.12

4.2.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการเรื่องการ tie หม้อแปลงจะเห็นได้ว่าการ tie หม้อแปลงจะช่วยลด Core loss ได้ในกรณีที่หม้อแปลงจ่าย load น้อย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลประหยัดที่คำนวณจากโปรแกรมจะมีค่าเท่ากับการคำนวณมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การดำเนินงานศึกษาและการพัฒนาโปรแกรมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนการประหยัดพลังงานและผลประหยัดที่ได้จากมาตรการที่เลือก ได้มีการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ได้ข้อสรุปถึงประโยชน์ที่ได้จากการสร้างโปรแกรม จะเห็นว่าโปรแกรมสามารถที่จะช่วยวิศวกรในการตัดสินใจใช้มาตรการที่สนใจ โดยได้นำผลของโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา และทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับมาตรการดังกล่าว คือ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และการปลดหม้อแปลง เพื่อพิสูจน์ว่ามาตรการดังกล่าว มีผลตรงกับทางทฤษฎีสามารถใช้งานได้จริง และมีประสิทธิผล ซึ่งจากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ช่วยในการคำนวณค่าการสูญเสีย ผลประหยัด และจุดคุ้มทุนได้อย่างมีประสิทธิผล และยังสามารถนำการทดลองมาสร้างแลปเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- จากการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมจะเห็นว่า ยังมีบางมาตรการที่ยังไม่ได้ทำการทดลอง ควรทำการทดลองเพิ่ม เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง กับผลของโปรแกรมว่ามีประสิทธิผล

- ในการทดลอง เรื่อง การปลดหม้อแปลง อาจจะเห็นค่าของผลประหยัดที่ได้ไม่มากนัก เนื่องจากเป็นหม้อแปลงที่ขนาดเล็ก หากได้ปลดหม้อแปลงที่มีขนาดเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้เห็นผลชัดเจนยิ่งขึ้น

- เนื่องจากโปรแกรมที่ได้พัฒนายังไม่เสร็จสมบูรณ์มากนัก จึงยังมีการแสดงผลด้วยกราฟฟิกที่ยังไม่ครบ จึงควรมีการตกแต่งเพิ่มเข้าไปเพิ่มความน่าใช้งานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chirarattananon, **Building for Energy Efficiency**, Asian Institute of Technology and Energy Policy and Planning Office, Bangkok, Thailand, 2005.

[2] **กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.dede.go.th (วันที่ค้นข้อมูล: 27 กรกฎาคม 2555)

[3] **คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน**, โครงการเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย (TEENET). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2555)

[4] วัชระ มั่งวิทิตกุล, **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม**, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2544.

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), **คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร "พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ"**

[6] **คู่มือฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านไฟฟ้า**, โครงการทดลองจัดระบบการสอบและการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรม PRE, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

[7] **เอกสารกรณีตัวอย่าง**, โครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม โดยโรงงานควบคุม (กลุ่ม 4) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

[8] MOTOKI MAYSUO. **เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม**. แปลโดย ดร. บัณฑิต โรจน์ อารยานนท์ และคณะ. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

[9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบ ด้านพลังงาน(ผชพ.) สามัญ**, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง
เรื่อง การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

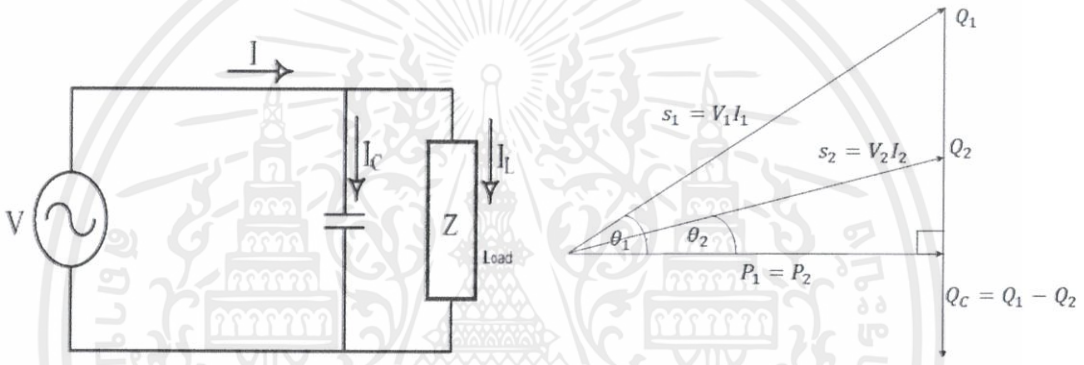
1.2 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าแต่ละแบบว่ามีผลอย่างไร

1.3 สามารถอธิบายสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า และคำจำกัดความของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้

1.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลอง และผลที่ได้จากการคำนวณ

2. ทฤษฎี

จากวงจรสมมูลของการต่อตัวเก็บประจุ เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล ดังสมการต่อไปนี้



รูปที่ ก-1 วงจรสมมูลของการต่อตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และรูปสามเหลี่ยมประกอบกำลังไฟฟ้าเมื่อต่อตัวเก็บประจุ

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(power factor) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\cos\theta = \frac{P}{S} = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}}$$

ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะแปรผันตามค่ากำลังไฟฟ้าจริง(P) และแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S)

สมการกำลังไฟฟ้าจริง(P) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

1Ø ; $P = VI\cos\theta$

3Ø ; $P = \sqrt{3}V_L I_L \cos\theta$

สมการกำลังไฟฟ้าปรากฏ(S) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

1Ø ; $S = VI$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$3\emptyset$; $S = \sqrt{3}V_L I_L$

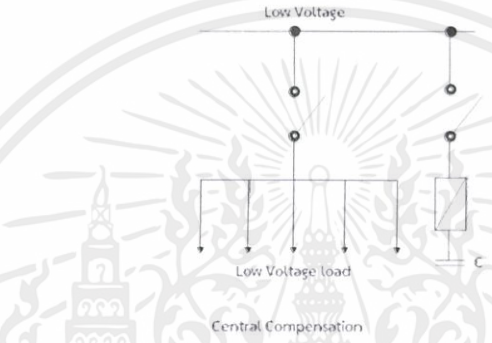
สมการกำลังไฟฟ้าเสมือน(Q) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$1\emptyset$; $Q = VI\sin\theta$

$3\emptyset$; $Q = \sqrt{3}V_L I_L \sin\theta$

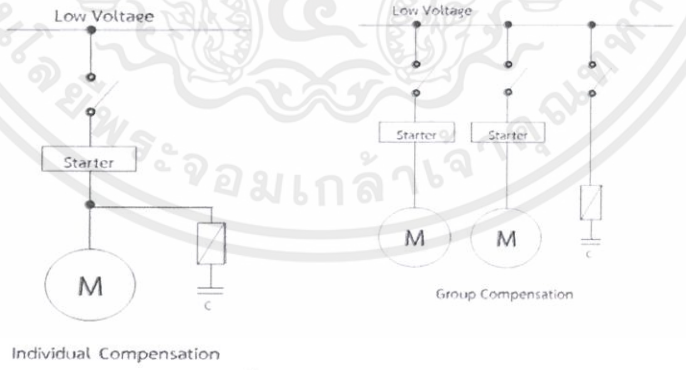
คำว่าการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจโดยทั่วไปว่า คือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังเสมือนเพื่อให้กำลังไฟฟ้าปรากฏมีจนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริง ดังนั้นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยใส่ตัวเก็บประจุขนาดกับโหลด หรือขนานกับแหล่งจ่าย ซึ่งสามารถแบ่งการติดตั้งตัวเก็บประจุได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1) การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบศูนย์กลาง(Central Compensation)



รูปที่ ก-2 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง

2) การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อย หรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว(Group Compensation, Individual Compensation)



รูปที่ ก-3 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF) สามารถแบ่งได้ดังนี้

1) ลดรายจ่ายค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เนื่องจากกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ(Q) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นเองได้ โดยการติดตั้ง C เพื่อเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งหากผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ได้ติดตั้งการไฟฟ้าจะต้องเป็นคนจ่ายในส่วนนั้น ซึ่งก็จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเสียค่าปรับแทน

2) ช่วยลดโหลดของหม้อแปลง

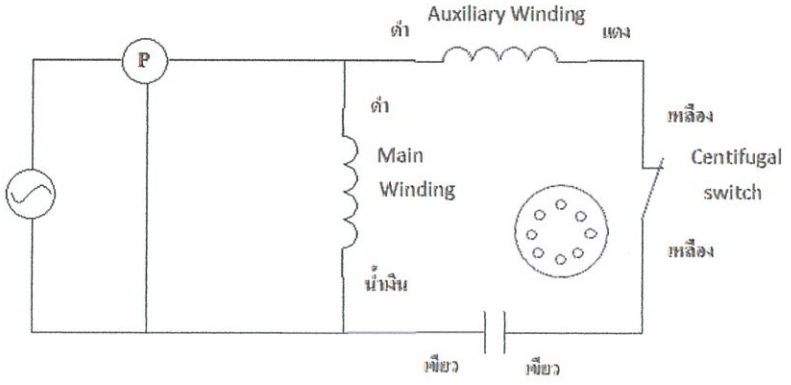
เมื่อใช้โหลดมากขึ้นเรื่อยๆกับหม้อแปลงตัวเดิม และหม้อแปลงเริ่มมีขนาดไม่พอกับความตองการ ถ้าหม้อแปลงต้องจ่ายเกินพิกัด การติดตั้งหม้อแปลงตัวใหม่จะทำให้สิ้นเปลือง จึงติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อช่วยหม้อแปลงจ่ายกระแสหรือกำลังไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่แต่เดิมหม้อแปลงต้องรับภาระจ่ายเองทั้งหมดทำให้หม้อแปลงมีกำลังเหลือเพื่อที่จะไปจ่ายโหลดอื่นเพิ่มเติมได้

3) ลดค่าไฟฟ้าที่สูญเสียไปในรูปความร้อนในสายไฟและหม้อแปลง

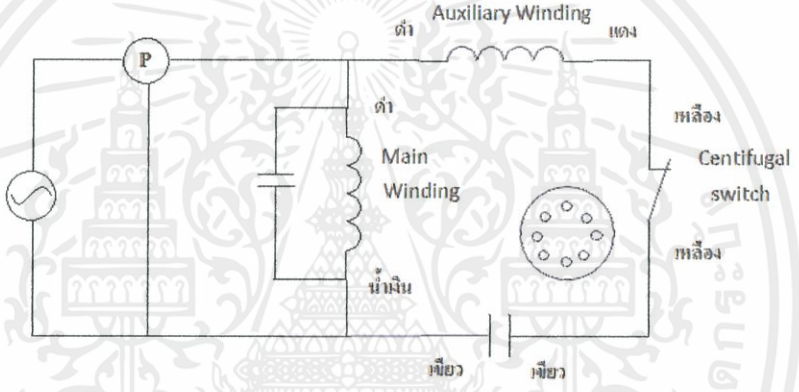
การติดตั้งตัวเก็บประจุสามารถลดค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ได้ด้วยเหมือนกัน แต่โดยทั่วไปในประเทศไทยมักจะติดตั้งตู้คาปาซิเตอร์ หรือเรียกย่อๆว่า “Cap Bank” จะทำให้การลดค่าไฟฟ้าสูญเสียในสายมีค่าที่น้อย โดยการต่อตัวเก็บประจุจะช่วยลดการสูญเสียในสายตั้งแต่จุดที่ติดตั้งขึ้นไป แต่การลดการสูญเสียที่หม้อแปลงไม่ว่าจะต่อแบบไหนก็คงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก-4 วงจรที่ยังไม่มีการต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ ก-5 วงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าเฟสเดียวปรับค่าได้ 0-250 V
2) พาวเวอร์มิเตอร์กระแสสลับ
3) โวลต์มิเตอร์กระแสสลับ
4) แอมมิเตอร์กระแสสลับ
5) ตัวเก็บประจุ C_1 ขนาด 18 uF และ C_2 ขนาด 27 uF
6) มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 105.9 W
7) แผงจุดต่อวงจรไฟฟ้า
8) สายไฟต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขั้นตอนการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 4

2) ป้อนแรงดันเข้ามอเตอร์ไฟฟ้า 220 V และบันทึกค่าแรงดัน กระแส และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ลงในตาราง

3) ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 2 แต่ทำการต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในวงจรตามรูปที่ 5

4) ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 3 แต่เปลี่ยนขนาดตัวเก็บประจุ

5) สรุปผลและตอบคำถามท้ายการทดลอง

ตารางที่ ก-1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

	แรงดัน(V)	กระแส(I)	P	Pf ที่วัดได้	Pf ที่ได้จากการคำนวณ
ไม่มีตัวเก็บประจุ					
C_1					
C_2					

คำถามท้ายการทดลอง

1) จงเปรียบเทียบค่าของกระแสจากการทดลองในทั้ง 3 ตาราง

2) จงอธิบายความแตกต่างของการต่อตัวเก็บประจุระหว่างแบบศูนย์กลางและกลุ่มโหลดย่อย

3) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง
เรื่อง การลดการใช้หม้อแปลง

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้มีความเข้าใจถึงผลดีของการปลดหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวที่ไม่จำเป็น
2. เพื่อให้มีความเข้าใจถึงการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว

2. ทฤษฎี

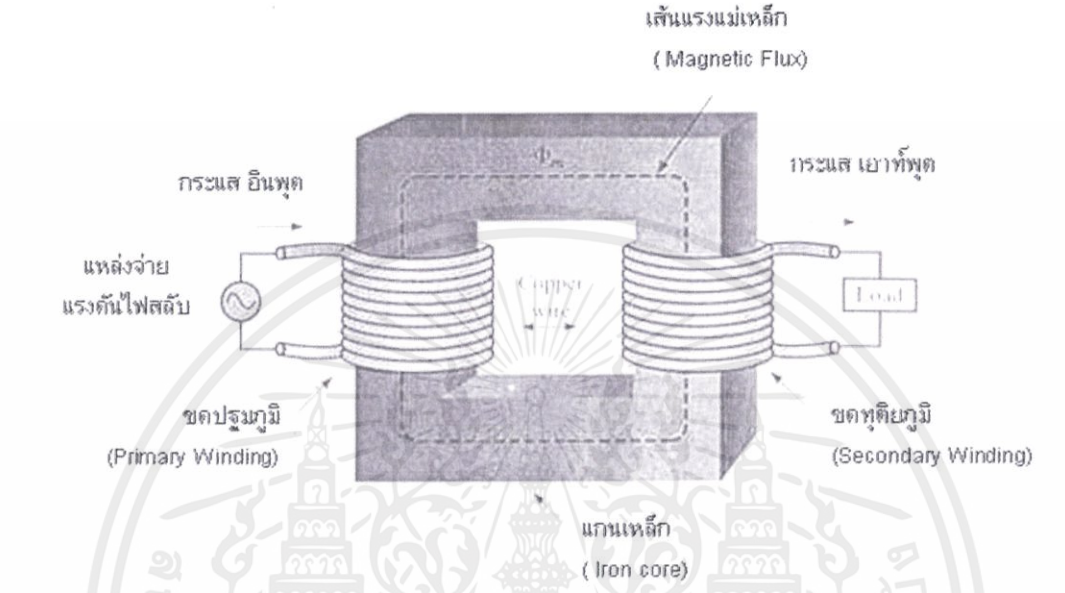
จากบทนิยามของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดว่า "หม้อแปลงไฟฟ้า หมายถึง เครื่องมือซึ่งอาศัยการเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าแปลงค่าแรงดันและกระแสสลับระหว่างขดลวดสองขด หรือมากกว่าให้เป็นค่าแรงดันและกระแสต่างๆกัน ณ ความถี่เดียวกัน" ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากวงจรด้านหนึ่งไปยังวงจรอีกด้านหนึ่ง ($V_{input}I_{input} \approx V_{output}I_{output}$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้หลักการของวงจรแม่เหล็กที่มีขดลวดถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับจะสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Induced Voltage) ขึ้นที่ขดลวดต่างๆได้ โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดอย่างน้อย 2 ชุด พันอยู่บนวงจรแม่เหล็กเดียวกัน เรียกชื่อว่า ขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ ในขณะที่นำหม้อแปลงไฟฟ้ามาใช้งานจะกำหนดให้เรียกชื่อขดลวดด้านที่รับแรงดันไฟฟ้า(เข้า) จากแหล่งจ่ายว่าขดลวดปฐมภูมิ(Primary Winding) และเรียกชื่อขดลวดด้านที่จ่ายแรงดันไฟฟ้า(ออก) ให้กับภาระไฟฟ้าว่า ขดลวดทุติยภูมิ(Secondary Winding)

โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ แกนเหล็ก (Core) และขดลวด(Windings) ดังรูปที่ 1 ก) ส่วนแกนเหล็กเป็นบริเวณที่มีพลังงานสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ แกนเหล็กประกอบขึ้นมาโดยใช้สารเฟอโรแมกเนติก ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ดีคือ มีความซึมซาบแม่เหล็กสูงเพื่อที่จะลดค่าความสูญเสียทางแม่เหล็ก ซึ่งเรียกว่า ค่าสูญเสียจากวงฮิสเทอริซิส และเพื่อลดการเกิดสนามแม่เหล็กรั่วซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่เป็นแกนเหล็ก สำหรับโครงสร้างแกนเหล็กจะเป็นการใช้แผ่นเหล็กบางๆ มาวางเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ จนเกิดเป็นพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก เพื่อเป็นการลดค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในแกนเหล็ก ที่เรียกว่าค่าสูญเสียจากกระแสไหลวน(Eddy-current Loss) ซึ่งการสูญเสียทั้งสองค่านี้จะกำหนดให้เกิดขึ้นรวมกัน เรียกชื่อว่าค่าสูญเสียในแกนเหล็ก(Core Loss) อีกส่วนหนึ่งคือขดลวดซึ่งเป็นบริเวณที่ทำให้เกิดค่าสนามแม่เหล็กและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานลักษณะ เป็นกลุ่มลวดตัวนำไฟฟ้าทำด้วยทองแดงจำนวนสองชุด(ขดลวดแรงดันสูงและแรงดันต่ำ) พันอยู่บนวงจรแม่เหล็กเดียวกัน แต่จะไม่มีการต่อร่วมกันทางวงจรไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองชุด(ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ) จะเห็นได้ว่าในส่วนขดลวดทั้งสองชุดนี้จะทำให้เกิดค่าสูญเสียทางไฟฟ้าจากการที่มีกระแสไหลผ่านความต้านทานทางไฟฟ้าของขดลวดซึ่ง เรียกว่า ค่าสูญเสียจากลวดทองแดง

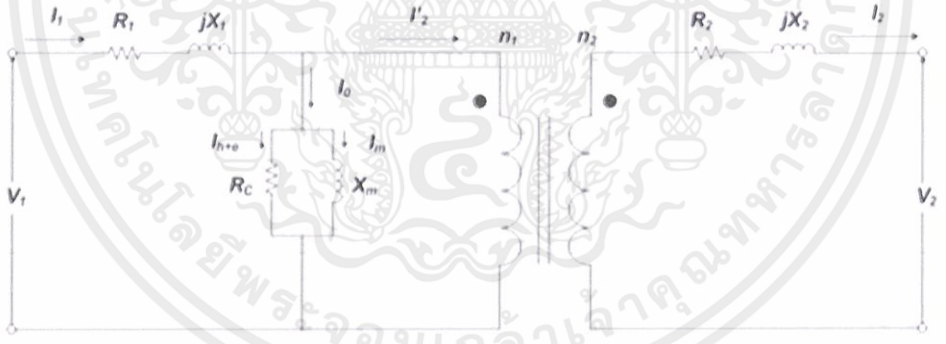
หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ แปลงแรงดัน และแยกวงจร 2 ฝั่งออกจากกันทางไฟฟ้า หม้อแปลงไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แต่เป็นตัวส่งผ่านพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิ (Primary) ไปยังฝั่งทุติยภูมิ (Secondary) โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างแม่เหล็กกับไฟฟ้า จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ฝั่ง ไม่ได้ต่อถึงกันทางไฟฟ้าแต่อย่างใด การที่ฝั่งทุติยภูมิสามารถจ่ายไฟได้ เพราะพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมินั่นเอง ขนาดของแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนเหนี่ยวนำ (แรงดันไฟฟ้า) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พันบนแกนเหล็กเป็นสำคัญ ในการนี้จะพบว่า หม้อแปลงในทางปฏิบัติมีความแตกต่างไปจากหม้อแปลงในทางอุดมคติ เพราะมีความต้านทานในขดลวด ทำให้เกิดการสูญเสียในลวดตัวนำได้ และยังเกิดการสูญเสียขึ้นในแกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุอีกด้วย โดยมีวงจรสมมูลย์ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งมีความซับซ้อนที่จะอธิบาย จึงขออธิบายเพียงเนื้อหาที่ควรทราบพอสังเขปเท่านั้น



รูปที่ ก-6 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ ก-7 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง

ในทางปฏิบัตินั้น หม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะ คือ

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลด แต่มีการต่อไฟทางฝั่งปฐมภูมิเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ประมาณว่าเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก จึงอาจเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss มีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับการจ่ายโหลด

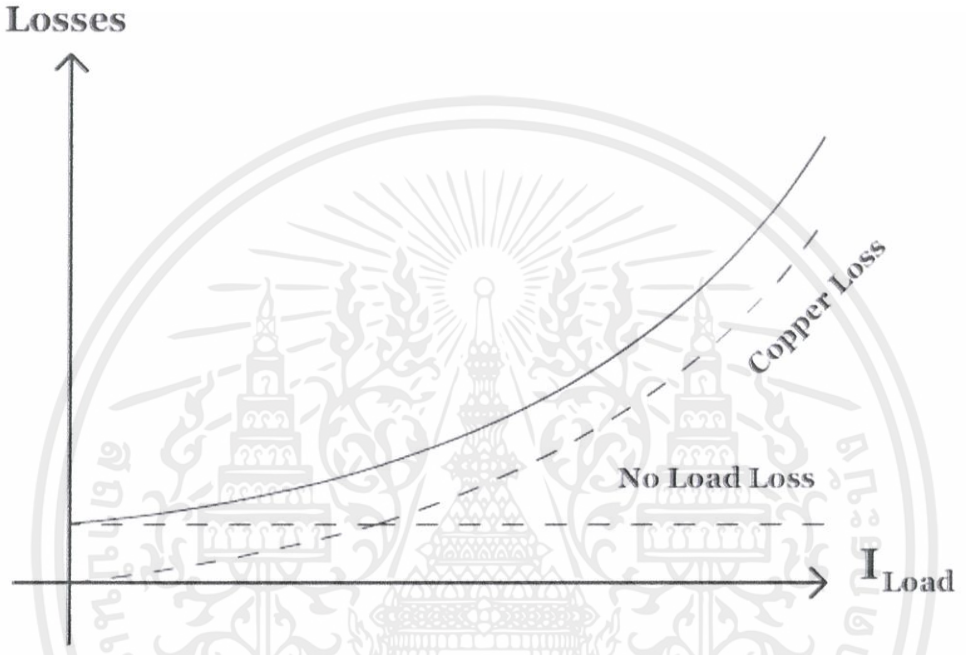
$$P_c = V_1^2 / R_c \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss) หมายถึง กำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายโหลด มีค่าแปรผันตามกระแสยกกำลังสอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Copper Loss

$$P_{cu} = I'^2_2 R_1 + I'^2_2 R'_2 \ , \quad P_{cu} = I'^2_2 R_{eq1} \quad (2)$$

หากพิจารณาจากรูปที่ 3 จะเห็นว่าการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะสามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นประ และมีการสูญเสียรวมดังเส้นทึบ จะเห็นว่าแม้ไม่มีการจ่ายโหลดเลย แต่ก็ยังคงมีการสูญเสียในหม้อแปลงเสมอ

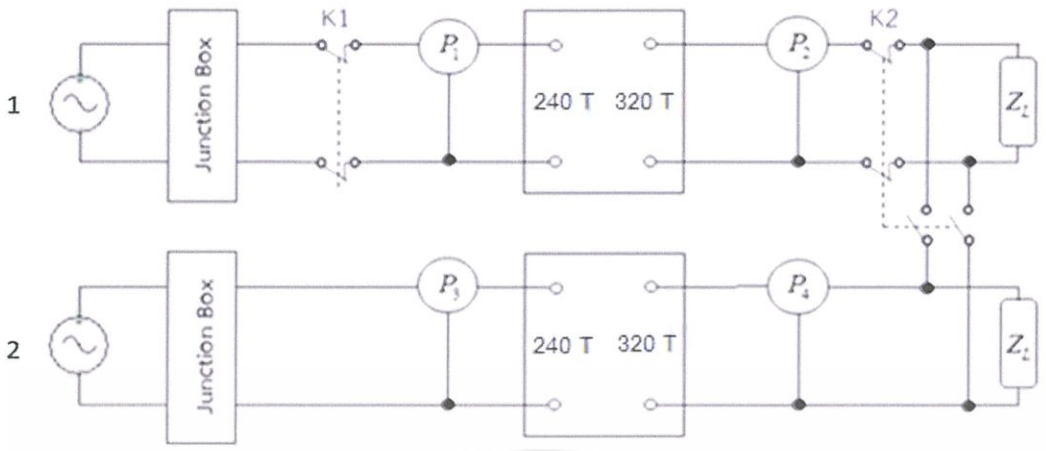


รูปที่ ก-8 ลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง

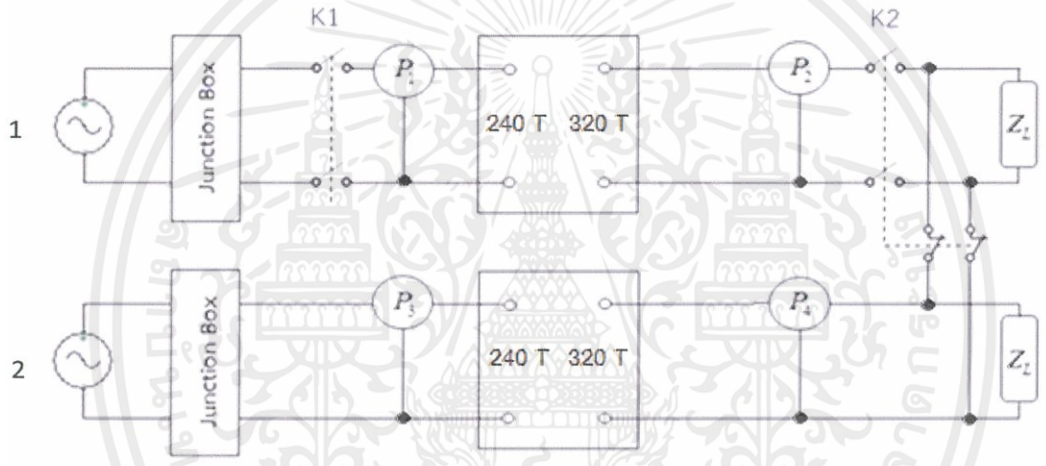
การทดลองเรื่อง การหาค่าสูญเสียในการปลดหม้อแปลง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4 แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 1
2. ทำการกดสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ ให้วงจรเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 5 แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-9 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ



รูปที่ ก-10 วงจรเมื่อทำการสับสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์

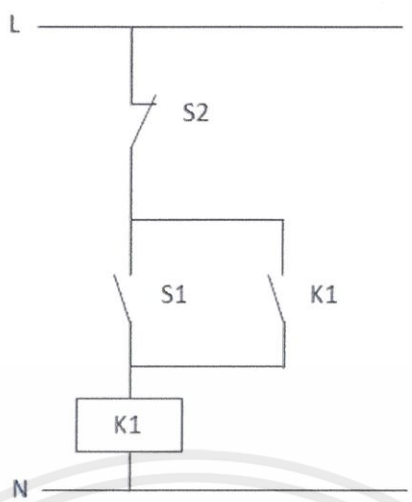
โดย หม้อแปลงตัวที่ 1(สีเหลือง) มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อใช้งานที่แรงดันปฐมภูมิที่ 161.8 V เท่ากับ 24.1 W

หม้อแปลงตัวที่ 2(สีแดง) มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อใช้งานที่แรงดันปฐมภูมิที่ 162.3 V เท่ากับ 13.9 W

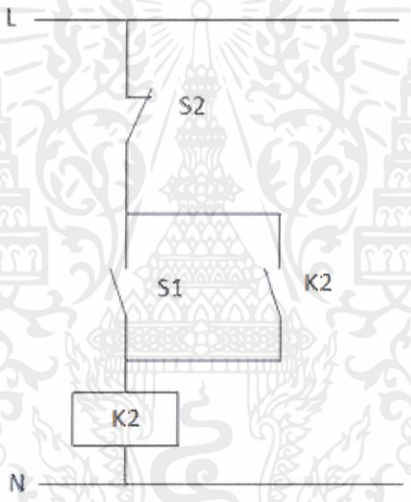
หม้อแปลงตัวที่ 2(สีแดง) มีความสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อใช้งานที่แรงดันปฐมภูมิที่ 164.5 V เท่ากับ 14.2 W

<u>หมายเหตุ</u> แรงดันที่ใช้งานด้านทุติยภูมิเท่ากับ 220V และเราจะทำการใช้สวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ช่วยให้การทดลองสะดวกขึ้น โดยมีวงจรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-11 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์



รูปที่ ก-12 วงจรควบคุมสวิตช์แมกเนติกคอนแทคเตอร์ K2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ตารางบันทึกผลการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลงกรณีใช้หม้อแปลง 2 ตัวจ่าย Load แต่ละชุดแยกกัน

หม้อแปลงตัวที่ 1 (สีเหลือง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_1	
I_1	
$P_{1(input)}$	
$\cos\theta_1$	
V_2	
I_2	
$P_{2(output)}$	
$\cos\theta_2$	

หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_3	
I_3	
$P_{3(input)}$	
$\cos\theta_3$	
V_4	
I_4	
$P_{4(output)}$	
$\cos\theta_4$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ตารางบักทึกการทดลองมาตรการลดการใช้หม้อแปลงกรณีใช้หม้อแปลง 2 ตัวจ่าย Load แต่ละชุดแยกกัน

หม้อแปลงตัวที่ 1 (สีเหลือง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_1	
I_1	
$P_{1(input)}$	
$\cos\theta_1$	
V_2	
I_2	
$P_{2(output)}$	
$\cos\theta_2$	

หม้อแปลงตัวที่ 2 (สีแดง)

	ค่าที่ได้จากการทดลอง
V_3	
I_3	
$P_{3(input)}$	
$\cos\theta_3$	
V_4	
I_4	
$P_{4(output)}$	
$\cos\theta_4$	

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงเปรียบเทียบการสูญเสียเมื่อปลดหม้อแปลง และไม่ปลดหม้อแปลง
2. การสูญเสียในหม้อแปลงมีกี่ชนิด อะไรบ้าง และจะหาได้ด้วยวิธีใด
3. จงคำนวณหาค่า P_{cu} P_c และหาผลประหยัดต่อปี ($P_{in} = P_{out} + P_{cu} + P_c$) และ ผลประหยัดต่อปี $= P_c \times$ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน $\times$ วันทำงานต่อปี $\times$ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย))
4. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Source Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Code Visual Basic 2010

```
Public Class Form1

    Private Sub TabPage1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        If TextBox1.Text = "KMITL" And TextBox2.Text = "KMITL" Then
            Form2.Show()
        Else
            MsgBox("Wrorg Username or Password",MsgBoxStyle.Critical)
        End If

    End Sub

    Private Sub PictureBox1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles PictureBox1.Click

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        End
    End Sub
End Class

Public Class Form10

    Private Sub GroupBox9_Enter(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles GroupBox9.Enter

    End Sub

    Private Sub Form10_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load

    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            P3.Text = (8 / 1000) * Lamp.Text
            kWh.Text = P3.Text * Hour.Text * Day.Text
            Save.Text = kWh.Text * Bathperunit.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        P3.Text = ""
        Lamp.Text = ""
        kWh.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Day.Text = ""
        Save.Text = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Bathperunit.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Save.Text()
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Payback.Text = ""
        Invest.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Label58_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label58.Click

    End Sub

    Private Sub Button8_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button8.Click
        Try
            kW1.Text = B.Text * (11 / 1000)
            kWh1.Text = kW1.Text * Hour1.Text * Day1.Text
            Savemoney1.Text = kWh1.Text * Bathperunit1.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button7_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button7.Click
        B.Text = ""
        Hour1.Text = ""
        Day1.Text = ""
        Bathperunit1.Text = ""
        kW1.Text = ""
        kWh1.Text = ""
        Savemoney1.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button6.Click
        Try
            Payback1.Text = Invest1.Text / Savemoney1.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button12_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button12.Click
        Try
            kW2.Text = (Lamp1.Text * (8 / 1000)) + (B2.Text * (11 / 1000))
            kWh2.Text = kW2.Text * Hour2.Text * Day2.Text
            Savemoney2.Text = kWh2.Text * Bathperunit2.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        End Try

    End Sub

    Private Sub Button11_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button11.Click
        kW2.Text = ""
        Lamp1.Text = ""
        B2.Text = ""
        kWh2.Text = ""
        Hour2.Text = ""
        Day2.Text = ""
        Savemoney2.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button10_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button10.Click
        Try
            Payback2.Text = Invest2.Text / Savemoney2.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button9_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button9.Click
        Invest2.Text = ""
        Payback2.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button5.Click
        Payback1.Text = ""
        Invest1.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form11

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            Savelite.Text = Lite.Text * ((n2.Text - n1.Text) / n1.Text)
            SaveMJ.Text = MJ.Text * Savelite.Text
            Savemoney.Text = Savelite.Text * Bathperlite.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        Lite.Text = ""
        n1.Text = ""
        n2.Text = ""
        SaveMJ.Text = ""
        MJ.Text = ""
        Savelite.Text = ""
        Savemoney.Text = ""
        Bathperlite.Text = ""
    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Savemoney.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Label58_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label58.Click

    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Payback.Text = ""
        Invest.Text = ""
        Savemoney.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form12

    Private Sub Label18_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            NokWh.Text = eff2.Text * Ton.Text * Hour.Text * Day.Text
            UsekWh.Text = eff1.Text * Ton.Text * Hour.Text * Day.Text
            kWhball.Text = Pball.Text * Tball.Text * Hour.Text * Day.Text
            SavekW.Text = (NokWh.Text - UsekWh.Text - kWhball.Text) /
(Hour.Text * Day.Text)
            SavekWh.Text = NokWh.Text - UsekWh.Text - kWhball.Text
            Savemoney.Text = SavekWh.Text * Bathperunit.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        eff1.Text = ""
        Ton.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Day.Text = ""
        NokWh.Text = ""
        UsekWh.Text = ""
        kWhball.Text = ""
        Pball.Text = ""
        Tball.Text = ""
        NokWh.Text = ""
        UsekWh.Text = ""
        kWhball.Text = ""
        SavekW.Text = ""
        SavekWh.Text = ""
        Savemoney.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Savemoney.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Payback.Text = ""
        Invest.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button8_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button8.Click
        SavekW1.Text = (Before.Text - After.Text)
        SavekWh1.Text = SavekW1.Text * Hour1.Text * Day1.Text
        Savemoney1.Text = SavekWh1.Text * Bathperunit1.Text
    End Sub

    Private Sub Button7_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button7.Click
        SavekW1.Text = ""
        Before.Text = ""
        After.Text = ""
        SavekWh1.Text = ""
        Hour1.Text = ""
        Day1.Text = ""
        Savemoney1.Text = ""
        Bathperunit1.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button6.Click
        Payback1.Text = Invest1.Text / Savemoney1.Text
    End Sub

    Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button5.Click
        Invest1.Text = ""
        Payback1.Text = ""
        Savemoney.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form13

End Class
Public Class Form14

End Class
Public Class Form15

End Class
Public Class Form2

    Private Sub Form2_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load

    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button11_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button11.Click
        Form14.Show()
    End Sub

    Private Sub TabPage2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles TabPage2.Click

    End Sub

    Private Sub Button13_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button13.Click
        Form15.Show()
    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Form3.Show()
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        Form4.Show()
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Form5.Show()
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Form6.Show()
    End Sub

    Private Sub Button6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button6.Click
        Form8.Show()
    End Sub

    Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button5.Click
        Form7.Show()
    End Sub

    Private Sub Button7_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button7.Click
        Form9.Show()
    End Sub

    Private Sub Button10_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button10.Click
        Form10.Show()
    End Sub

    Private Sub Button8_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button8.Click
        Form11.Show()
    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button9_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button9.Click
        Form12.Show()
    End Sub

    Private Sub Button12_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button12.Click
        Form13.Show()
    End Sub
End Class
Public Class Form3

    Private Sub Label14_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label14.Click

    End Sub

    Private Sub Label2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label2.Click

    End Sub

    Private Sub Label3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Label23_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label23.Click

    End Sub

    Private Sub GroupBox3_Enter(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles GroupBox3.Enter

    End Sub

    Private Sub Payback_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Payback.TextChanged

    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            Savecopperloss.Text = (1 - (PF1.Text / PF2.Text) ^ 2) * 100
            Savekw.Text = Copperloss.Text * (Savecopperloss.Text / 100)
            Saveyear.Text = Savekw.Text * Hour.Text * Day.Text
            Savemoney.Text = Saveyear.Text * Bathperunit.Text
            Capbank.Text = Realload.Text * (Math.Tan(Math.Acos(PF1.Text)) -
Math.Tan(Math.Acos(PF2.Text)))
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        PF1.Text = ""
        PF2.Text = ""
        Copperloss.Text = ""
        Savecopperloss.Text = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Savekw.Text = ""
        Day.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Saveyear.Text = ""
        Savemoney.Text = ""
        Capbank.Text = ""
        Realload.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Savemoney.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Payback.Text = ""
        Invest.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Form3_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load

    End Sub

    Private Sub GroupBox1_Enter(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles GroupBox1.Enter

    End Sub

    Private Sub TabPage1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles TabPage1.Click

    End Sub

    Private Sub Button9_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button9.Click
        Try
            DPF.Text = RealPower.Text / ApparentPower.Text
            DF.Text = 1 / (Math.Sqrt(1 + ((THDi.Text / 100) ^ 2)))
            TPF.Text = DPF.Text * DF.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button10_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button10.Click
        DPF.Text = ""
        RealPower.Text = ""
        ApparentPower.Text = ""
        DF.Text = ""
        THDi.Text = ""
        TPF.Text = ""
    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button8_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button8.Click
        Try
            Saveloss.Text = (1 - (Powerfactor1.Text / Powerfactor2.Text) ^ 2) *
100
            kW1.Text = Copperloss1.Text * (Saveloss.Text / 100)
            kWh1.Text = kW1.Text * Hour1.Text * Day1.Text
            Savemoney1.Text = kWh1.Text * Bathperunit1.Text
            Capbank1.Text = Realload1.Text *
(Math.Tan(Math.Acos(Powerfactor1.Text)) -
Math.Tan(Math.Acos(Powerfactor2.Text)))
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button7_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button7.Click
        Saveloss.Text = ""
        Powerfactor1.Text = ""
        Powerfactor2.Text = ""
        kW1.Text = ""
        Copperloss1.Text = ""
        Saveloss.Text = ""
        Savemoney1.Text = ""
        kWh1.Text = ""
        Bathperunit1.Text = ""
        Capbank1.Text = ""
        Realload1.Text = ""
        Day1.Text = ""
        Hour1.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button6.Click
        Try
            Payback1.Text = Invert1.Text / Savemoney1.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button5.Click
        Payback1.Text = ""
        Invert1.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form4

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            kW.Text = Coreloss.Text * (((Beforvoltage.Text / Aftervoltage.Text)
^ 2) - 1)
            kWh.Text = kW.Text * Hour.Text * Day.Text * Transformer.Text
            Savemoney1.Text = kWh.Text * Bathperunit.Text
            ktoe.Text = kWh.Text * 85.21 / 1000000000
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        Beforvoltage.Text = ""
        Aftervoltage.Text = ""
        kW.Text = ""
        kWh.Text = ""
        Savemoney1.Text = ""
        ktoe.Text = ""
        Coreloss.Text = ""
        Transformer.Text = ""
        Day.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
        Hour.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Savemoney1.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Invest.Text = ""
        Payback.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form5

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            Coreloss.Text = Corelossrated.Text * Hour.Text * Day.Text
            kW.Text = Corelossrated.Text
            kWh.Text = Coreloss.Text
            ktoe.Text = kWh.Text * 85.21 / 1000000000
            Savemoney.Text = kWh.Text * Money.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบด้วยครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        Coreloss.Text = ""
        kW.Text = ""
        kWh.Text = ""
        ktoe.Text = ""
        Corelossrated.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Day.Text = ""
        Money.Text = ""
        Savemoney.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Savemoney.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบด้วยครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Invest.Text = ""
        Payback.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form6

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Form6_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load

    End Sub

    Private Sub Button1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            kWh.Text = N.Text * (Powerold.Text - Powernew.Text) * Hour.Text *
Day.Text * (Percent.Text / 100)
            Save.Text = kWh.Text * Bathperunit.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        kWh.Text = ""
        N.Text = ""
        Powerold.Text = ""
        Powernew.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Day.Text = ""
        Percent.Text = ""
        Save.Text = ""
        kWh.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Save.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบด้วยครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Invest.Text = ""
        Payback.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form7

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            P2.Text = (P1.Text * ((N2.Text / N1.Text) ^ 3))
            Save.Text = (P1.Text - P2.Text) * Hour.Text * Day.Text *
Bathperunit.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        P1.Text = ""
        P2.Text = ""
        N2.Text = ""
        N1.Text = ""
        Save.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Day.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Save.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรอกข้อมูลให้ครบด้วยครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Invest.Text = ""
        Payback.Text = ""
    End Sub
End Class
Public Class Form8

    Private Sub Label24_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            P2.Text = Load1.Text * ((100 / eff1.Text) - (100 / eff2.Text)) *
(WorkLoad.Text / 100)
            Save.Text = Bathperunit.Text * P2.Text * Day.Text * Hour.Text
            Save2.Text = Save.Text * Time.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        P2.Text = ""
        eff1.Text = ""
        eff2.Text = ""
        WorkLoad.Text = ""
        Save.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
        Day.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Load1.Text = ""
        Time.Text = ""
        Save2.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = (Price1.Text - Price2.Text) / Save.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบหรือคำนวณค่าบการอนุรักษ์พลังงานก่อนครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Payback.Text = ""
        Price1.Text = ""
        Price2.Text = ""
        Save.Text = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End Sub
End Class
Public Class Form9

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

    End Sub

    Private Sub Button1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Try
            P3.Text = P1.Text - P2.Text
            kWh.Text = P3.Text * Day.Text * Hour.Text
            Save.Text = kWh.Text * Bathperunit.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        P3.Text = ""
        P1.Text = ""
        P2.Text = ""
        kWh.Text = ""
        Day.Text = ""
        Hour.Text = ""
        Save.Text = ""
        Bathperunit.Text = ""
    End Sub

    Private Sub Button4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
        Try
            Payback.Text = Invest.Text / Save.Text
        Catch ex As Exception
            MsgBox("กรุณากรองข้อมูลให้ครบครับ")
        End Try
    End Sub

    Private Sub Button3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
        Invest.Text = ""
        Payback.Text = ""
    End Sub
End Class
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Code Adobe Flash CS6 Action Script 3

```
import flash.events.MouseEvent;
stop();
a.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoa);
function gotoa(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ทฤษฎีการทดลอง");
}
b.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotob);
function gotob(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "วิธีการทดลอง");
}
c.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoc);
function gotoc(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "เริ่มการทดลอง");
}
d.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotod);
function gotod(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ปรับ pf 0.5");
}
e.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoe);
function gotoe(e:MouseEvent):void
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        gotoAndStop(1, "ปรับ pf 0.85");}
import flash.events.MouseEvent;
stop();
f.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotof);
function gotof(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "วิธีการทดลอง");
}
g.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotog);
function gotog(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "หน้าแรก");
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
h.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoh);
function gotoh(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ทฤษฎีการทดลอง");
}
i.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoi);
function gotoi(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "หน้าแรก");
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
aa.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoaa);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function gotoaa(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ทฤษฎีการทดลอง");
}
aaa.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoaaa);
function gotoaaa(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "วิธีการทดลอง");
}
aaaa.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoaaaa);
function gotoaaaa(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ปรับ pf 0.5");
}
aaaaa.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoaaaaa);
function gotoaaaaa(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ปรับ pf 0.85");
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
cc.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotocc);
function gotocc(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ทฤษฎีการทดลอง");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ccc.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoccc);
function gotoccc(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "วิธีการทดลอง");
}
cccc.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotocccc);
function gotocccc(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "เริ่มการทดลอง");
}
ccccc.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoccccc);
function gotoccccc(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ปรับ pf 0.85");
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
c1.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoc1);
function gotoc1(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ทฤษฎีการทดลอง");
}
c2.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoc2);
function gotoc2(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "วิธีการทดลอง");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
c3.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoc3);
function gotoc3(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "เริ่มการทดลอง");
}
c4.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoc4);
function gotoc4(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "ปรับ pf 0.5");
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
d.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotod);
function gotod(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(2);
}
s.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotos);
function gotos(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(3);
}
m.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotom);
function gotom(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "Scene 2");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
n.addEventListener(MouseEvent.CLICK, goton);
function goton(e:MouseEvent):void
 {
          gotoAndStop(1, "Scene 3");
}
import flash.events.MouseEvent;
stop();
B.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoB);
function gotoB(e:MouseEvent):void
 {
          gotoAndStop(1);
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
A.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoA);
function gotoA(e:MouseEvent):void
{
          gotoAndStop(1);
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
o.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoo);
function gotoo(e:MouseEvent):void
{
          gotoAndStop(1, "Scene 2");
}
p.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotop);
function gotop(e:MouseEvent):void
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        gotoAndStop(1, "Scene 3");
}
c.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoc);
function gotoc(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(2);
}
e.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoe);
function gotoe(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(3);
}import flash.events.MouseEvent;
stop();
q.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoq);
function gotoq(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "Scene 2");
}
r.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotor);
function gotor(e:MouseEvent):void
{
        gotoAndStop(1, "Scene 3");
}
dd.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotodd);
function gotodd(e:MouseEvent):void
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        gotoAndStop(2);
}
ss.addEventListener(MouseEvent.CLICK, gotoss);
function gotoss(e:MouseEvent):void
 {
        gotoAndStop(3);
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

DEVELOPMENT OF PAYBACK PERIOD CACULATION SOFTWARE FOR BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

กฤษฎา กฤษณังกูร ก้องพิภพ เมฆขุนทด และคเชนทร์ เตชอังกูร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบังกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

โครงงานนี้พัฒนาโปรแกรมทางอนุรักษ์พลังงานเพื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนการประหยัดพลังงานและผลประหยัดที่ได้จากมาตรการที่เลือก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์เพื่อหาผลประโยชน์จากมาตรการและช่วยวิศวกรที่รับผิดชอบตัดสินใจและใช้มาตรการที่สนใจเหล่านั้น ผลของโปรแกรมที่พัฒนาจะถูกตรวจสอบโดยแบบจำลองของโปรแกรมแมทแลปSIMPOWER SYSTEM และการทดลอง จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานในการประเมินผลประโยชน์ของมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิผล

คำสำคัญ : การอนุรักษ์พลังงาน, ระยะเวลาคืนทุน

ABSTRACT

This project develops an energy conservation software to calculate the payback period, energy saving, and cost saving in selected measures. The developed program can be applied to evaluate the benefits of the measure and can help the responsible engineer to decide and apply the interesting measure. The results of the developed program are verified by simulation model using matlabSimPower System toolbox, and experiments. As results indicated, the proposed software is effectively used for evaluating the benefits of any measures in energy conservation.

Keywords : Energy conservation, Payback perior

1. บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า ประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเป็นอย่างมาก แต่ประเทศไทยมิได้มีแหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์ภายในประเทศมากพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทุกภาคส่วนต้องตระหนักถึงความสำคัญที่เกิดขึ้น

อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงาน ยังมีข้อจำกัดและมีปัญหาอยู่มาก และเมื่อลองจินตนาการถึงอนาคต หากขาดพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โลกคงอยู่ในความมืด การติดต่อสื่อสาร การเดินทางไปมา ความสะดวกสบายคงขาดหายไปเกือบหมด

จึงกล่าวได้ว่าแนวทางการแก้ปัญหาพลังงานที่สำคัญ คือการอนุรักษ์พลังงานที่เหลืออยู่พร้อมๆ ไปกับการพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆ ให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน

2. การอนุรักษ์พลังงาน

มีผู้คนจำนวนมากที่เข้าใจความหมายของคำว่าอนุรักษ์พลังงานว่าคือการประหยัด (Saving) แต่ความหมายที่แท้จริงนั้นคำว่าอนุรักษ์พลังงานหมายถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพซึ่งมีความหมายที่กว้างขวางและครอบคลุมกว่าคำว่าประหยัดแต่เพียงเท่านั้นหากพิจารณาเฉพาะแง่มุมด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยแล้วสามารถอธิบายคำว่าอนุรักษ์พลังงานให้เห็นภาพได้อย่างแจ่มชัดได้จากนิยามของคำว่า "หน่วยไฟฟ้า" ที่ในทางเทคนิคมีที่มาจากหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่ากิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้

kWh = kW x h ⟶ความหมาย = กิโลวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า x ชั่วโมงที่เปิดใช้งาน

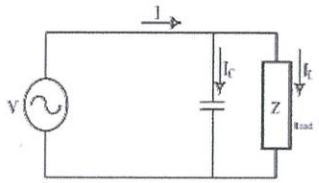
2.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

2.1.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

คำว่าการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังไฟฟ้าเสมือนเพื่อให้กำลังไฟฟ้าปรากฏมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริง เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้นโหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็นตัวต้านทานผสมกับตัวเหนี่ยวนำซึ่งทำให้กระแสล้าหลังแรงดันดังนั้นกำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบที่พบจึงมักจะเป็นกำลังไฟฟ้าเสมือนของตัวเหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัยอาคารและโรงงานต่างก็ใช้กำลังไฟฟ้าเสมือนของตัวเหนี่ยวนำแทบทั้งนั้นทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ

ดังนั้นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ตัวเก็บประจุขนานกับโหลดหรือขนานกับแหล่งจ่ายดังรูปที่ 2.1 เพื่อให้กำลังไฟฟ้าเสมือนของตัวเหนี่ยวนำหักล้างกับกำลังไฟฟ้าเสมือนของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การต่อตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
(ที่มา :คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน(TEENET)
http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html)

ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วยกำลังไฟฟ้าเสมือนได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF_1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos\theta_1 \, , PF_2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos\theta_2$$

$$\text{ขนาดของตัวเก็บประจุ} = Q_1 - Q_2 = kW(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

ระบบไฟฟ้าที่มีค่า PF ต่ำจะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมากการแก้ให้ค่า PF สูงขึ้นจะทำให้ค่าไฟฟ้าลดลงแต่การแก้ค่า PF นี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มจึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วย

1) การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง CAPACITOR Bank)
-การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว
-การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อยหรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว

2) ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

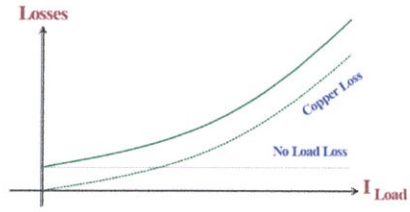
ข้อดี - เพิ่มประสิทธิภาพโดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
- ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่ายสามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย - การเกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) เมื่อปลดโหลดออก
- การเกิดเรโซแนนซ์เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิกทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย

2.1.2 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการ Tie หม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะคือ

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลดหมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลดเป็นการสูญเสียในแกนเหล็กจึงเรียกว่าการสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นกับการจ่ายโหลด
2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลดหมายถึงกำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายโหลดมีค่าแปรผันตามกระแสยกกำลังสองเรียกว่า การสูญเสียในขดลวดทองแดง



รูปที่ 2.2 ลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง
(ที่มา :กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ระดับสามัญ)

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะสามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นประและมีการสูญเสียรวมดังเส้นทึบจะเห็นว่าแม้ไม่มีการจ่ายโหลดเลยแต่ก็ยังคงมีการสูญเสียในหม้อแปลงเสมอ

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะดีที่สุด เมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-75% ของพิกัดถ้าหากใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงบ้างโดยทั่วไปนิยมใช้หม้อแปลง 2 ตัวแบ่งภาระการจ่ายโหลดโดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดประมาณ 75% ในทางปฏิบัติแล้วมีหลายกรณีที่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เกินภาระการใช้งานจริงจึงทำให้เกิดการสูญเสียมากจึงควรจะระมัดระวังการใช้หม้อแปลงในลักษณะนี้ บางครั้งเมื่อใช้งานที่โหลดน้อยๆ อาจมีการรวมมาใช้หม้อแปลงตัวเดียวเพื่อจ่ายโหลดได้ เพื่อลดความสูญเสีย

3. การใช้งานโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร

3.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษามาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กรณีศึกษา :การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ติดตั้งตัวเก็บจุที่ตู้ MDB เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.81 ให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่า 0.85

สภาพหลังปรับปรุง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตู้ MDB มีค่าเท่ากับ 0.90 ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

เปอร์เซ็นต์การประหยัด = [1 - (PFเดิม / PFใหม่)2] x 100

= [1 - (0.81 / 0.90)2] x 100

ดังนั้นสามารถลดการสูญเสียในขดลวดลงมาได้ = 19 %

หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่ Copper loss เท่ากับ 24 kW

ดังนั้นถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้

พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 24 x 0.19 kW

= 4.56 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	= 4.56 x 24 x 300	kWh/ปี
	= 32,832	kWh/ปี
จำนวนเงินที่ประหยัด	= 32,832.00 x 2.87	บาท/ปี
	= 94,227.84	บาท/ปี

<u>การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ</u>

ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.81 เป็น 0.95

$\cos\theta_1 = 0.81°, \theta_1 = 35.90° \longrightarrow \cos\theta_2 = 0.90°, \theta_2 = 25.84°$

ขนาดของตัวเก็บประจุ $= kW \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

$= 1{,}100 \times (\tan 35.90° - \tan 25.84°)$

$= 263.56$ kVar

<u>การลงทุน</u>

ติดตั้ง Capacitor 300 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 6 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท รวมเป็นเงิน 80,000 บาท

<u>สภาพหลังปรับปรุง</u>

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.90 ตามลำดับทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลง

เงินลงทุน	80,000.00	บาท
พลังงานที่ประหยัดได้	32,832	kWh/ปี
ผลประหยัดที่ได้	94,227.84	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.85	ปี

<u>ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม</u> ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 การคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก(MDB1)

เปอร์เซ็นต์การประหยัด	19%	
พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	4.56	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	32,832	kWh/ปี
จำนวนเงินที่ประหยัดได้	94,227.84	บาท/ปี
ขนาดของตัวเก็บประจุ	263.6319	kVar
เงินลงทุน	80,000	บาท
จุดคุ้มทุน	0.849	ปี

<u>ดังนั้น</u> จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณกรณีศึกษา

3.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมกับกรณีศึกษามาตรการมาตรการลดการใช้หม้อแปลง

<u>แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</u>

เนื่องจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ไม่ได้จ่ายโหลดเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรูปของความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง ดังนั้นหากสามารถทำการปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงดังกล่าวได้ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้อีกหนทางหนึ่งเช่นกัน

<u>สภาพหลังปรับปรุง</u>

ปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงขนาด 500 kVA ที่ไม่ได้ใช้งาน ทำให้สามารถลดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงลูกดังกล่าวได้

ระยะเวลาดำเนินการ	2	สัปดาห์
พลังงานไฟฟ้าลดลง	9,636	kWh/ปี
ผลประหยัดที่ได้	32,473.32	บาท/ปี

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมดังรูปที่ 3.3

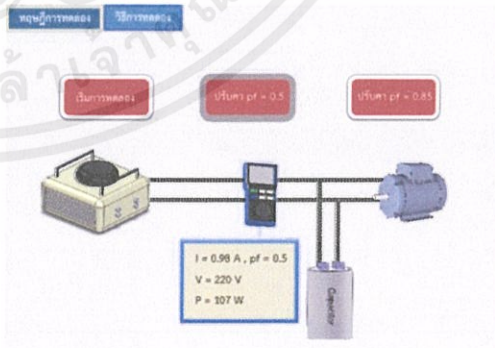
รูปที่ 3.3 การคำนวณด้วยโปรแกรมมาตรการ การลดการใช้หม้อแปลง

พลังงานไฟฟ้าลดลง	9,636	kWh/ปี
ผลประหยัดที่ได้	32,473.32	บาท/ปี

<u>ดังนั้น</u> จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ

3.3 โปรแกรมการเรียนรู้ภาคทฤษฎี (Theoretical Learning)

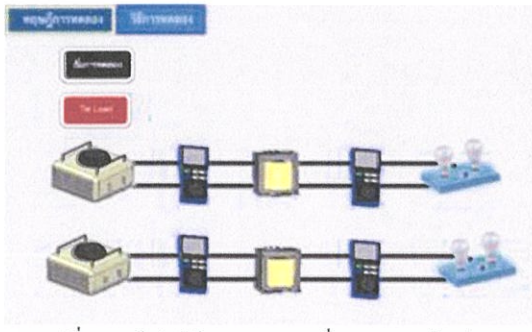
3.3.1 การทดลองเรื่องการค่าปรับตัวประกอบกำลัง



รูปที่ 3.4 หน้าต่างใช้งานการทดลองเรื่องการปรับค่าตัวประกอบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองเรื่องการ tie หม้อแปลง



รูปที่ 3.5 หน้าต่างใช้งานการทดลองเรื่องการ tie หม้อแปลง

4. ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบชุดทดลองการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

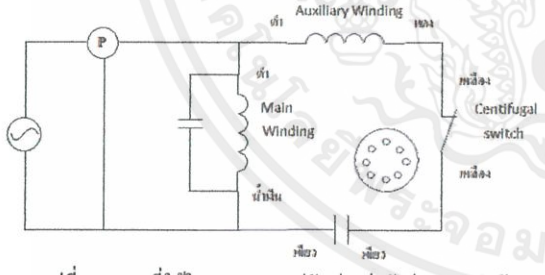
การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 ที่ได้จากการวัดค่า โหลดมอเตอร์ 1 เฟสนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.50 และ 0.85 ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคารคำนวณหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.22 เป็น 0.50 และ 0.85 คือ 0.286 kVar และ 0.40394 kVar ตามลำดับ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าขนาดตัวเก็บประจุที่อยู่ในหน่วย uF โดยใช้สูตรการคำนวณ คือ

$$X_c = \frac{V^2}{Q}$$

จากนั้นนำค่า X_c ที่ได้จากการคำนวณมาหาค่าขนาดของตัวเก็บประจุจาก

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

ได้ค่า $C = 18.809$ uF, $C = 26.565$ uF



รูปที่ 4.1 วงจรที่ใช้ในการทดลองปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

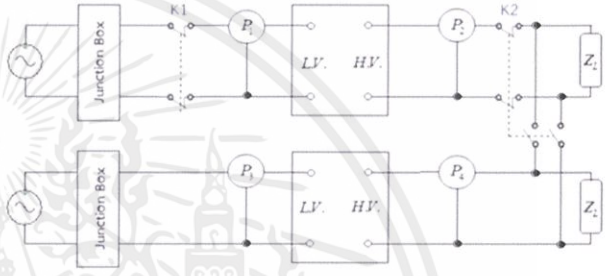
	V	I	P	Pf ที่วัดได้	Pf ที่ได้จากการคำนวณ
ไม่มี C	220	2.18	105.9	0.22	
C_1	220	0.980	107	0.5	0.5
C_2	220	0.575	108.1	0.85	0.85

4.1.1 สรุปผลการทดลอง เรื่อง การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

จากการทดลองการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จะเห็นว่าโปรแกรมคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับการจัดการพลังงานในอาคารสามารถใช้งานได้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2 การออกแบบชุดทดลองการ tie หม้อแปลง

เพื่อพิสูจน์ถึงผลดีของการปลดหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวที่ไม่จำเป็นและเข้าใจถึงการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว



รูปที่ 4.2 วงจรที่มีการจ่ายไฟปกติ

<u>การคำนวณหาค่าผลประหยัด</u>

การสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตัวที่ 1 ขณะจ่ายไฟปกติ

$P_c = 24.1$ W

การสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตัวที่ 2 ขณะจ่ายไฟปกติ

$P_c = 13.9$ W

การสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตัวที่ 2 ขณะปลดหม้อแปลงตัวที่1

$P_c = 14.2$ W

ดังนั้น การสูญเสียในแกนเหล็กที่ลดลงเท่ากับ $P_c = 24.1-(14.2-13.9)$ W

$P_c = 23.8$ W

กำหนดให้ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน = 24 ชั่วโมง

วันทำงานต่อปี = 300 วัน

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 3 บาท

ผลประหยัดต่อปี = 23.8×24×300×3

= 514.08 บาทต่อปี

4.2.1 สรุปผลการทดลอง เรื่อง การ tie หม้อแปลง

จากการทดลองการเรื่องการ tie หม้อแปลงจะเห็นได้ว่าการtie หม้อแปลงจะช่วยลด Core loss ได้ในกรณีที่หม้อแปลงจ่าย load น้อย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลประหยัดที่คำนวณจากโปรแกรมจะมีค่าเท่ากับการคำนวณมือ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุป

การดำเนินงานศึกษาและการพัฒนาโปรแกรมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนการประหยัดพลังงานและผลประหยัดที่ได้จากมาตรการที่เลือก ได้มีการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ได้ข้อสรุปถึงประโยชน์ที่ได้จากการสร้างโปรแกรม จะเห็นว่าโปรแกรมสามารถที่จะช่วยวิศวกรในการตัดสินใจใช้มาตรการที่สนใจ โดยได้นำผลของโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา และทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับมาตรการดังกล่าว คือ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และการปลดหม้อแปลง เพื่อพิสูจน์ว่ามาตรการดังกล่าว มีผลตรงกับทางทฤษฎี สามารถใช้งานได้จริง และมีประสิทธิผล ซึ่งจากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ช่วยในการคำนวณค่าการสูญเสีย ผลประหยัด และจุดคุ้มทุนได้อย่างมีประสิทธิผล และยังสามารถนำการทดลองมาสร้างแลปเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และ อาจารย์วรกัลป์ ลิ้มเจริญ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่าน ที่ได้คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ

ขอขอบพระคุณพี่ๆ จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้สามารถวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1]คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน(TEENET)
http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html

[2]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ.) ระดับสามัญ

[3] การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากองทุนส่งเสริมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ

ประวัติผู้เขียน

นายกฤษฎา กฤษฉังกูร
เกิดวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2533
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 089-2394761
E-mail : krisada_k@me.com

นายก้องพิภพ เมฆขุนทด
เกิดวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 080-4210084
E-mail : kong_2999@hotmail.com

นายคเชนทร์ เตชอังกูร
เกิดวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2534
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 084-8868268
E-mail : cb_no156@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายกฤษฎา กฤษณังกูร
เกิดวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2533
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 089-2394761
E-mail : krisada_k@me.com

นายก้องพิภพ เมฆขุนทด
เกิดวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 080-4210084
E-mail : kong_2999@hotmail.com

นายคเชนทร์ เตชอังกูร
เกิดวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2534
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 084-8868268
E-mail : cb_no156@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้