

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคิดราคาไฟฟ้า

AUTOMATIC UNIT COST DIGITAL WATT HOUR METER



โดย

นาย พลรัฐ วิจิธวาท (36013201)

นาย มงคล ศิริคณ (36013207)

นาย รุ่ง พันธังงาม (36013209)



วัน เดือน ปี... ๑๖ กรกฎาคม ๒๕๖๕
เลขทะเบียน... ๐๓๖๙๓๖
เลขเรียกหนังสือ... ๗๑๘๐๓๑
พ.๔๓๖๕๓

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 2538 ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

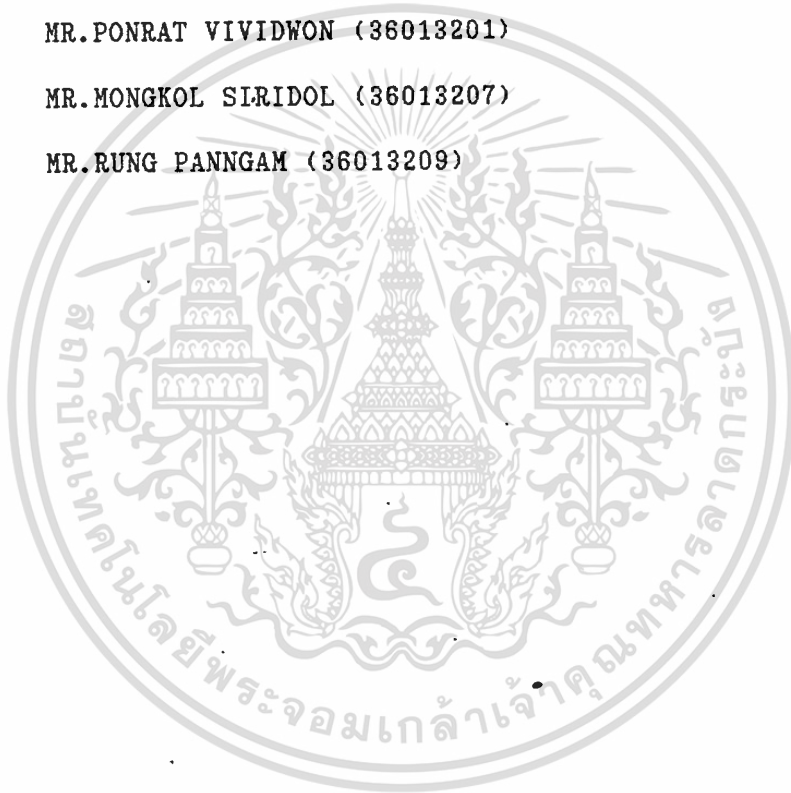
AUTOMATIC UNIT COST DIGITAL WATT HOUR METER

BY

MR. PONRAT VIVIDWON (36013201)

MR. MONGKOL SIRIDOL (36013207)

MR. RUNG PANNGAM (36013209)



PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR'S DEGREE
DEPARTMENT OF TECHNOLOGY ELECTRONICS
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคิดราคาไฟฟ้า

ชื่อนักศึกษา

นายพลรัฐ วิวิธาร (36013201)

นายมงคล ศิริดล (36013207)

นายรุ่ง พันธุ์งาม (36013209)

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ชวลิต เภญางคประเสริฐ

อาจารย์มนชนก ศรีเลื้อขาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นับปริญญาโทนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาโท



ประธานกรรมการ

(-----)

กรรมการ

(-----)

กรรมการ

(-----)

กรรมการ

(-----)

กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ลิขสิทธิ์ของสิ่งพิมพ์ทั้งหมดเป็นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

PROJECT REPORT

AUTOMATIC UNIT COST DIGITAL WATT HOUR METER

BY

MR.PONRAT VIVIDWON (36013201)

MR.MONGKOL SIRIDOL (36013207)

MR.RUNG PANNGAM (36013209)

DEPARTMENT

INDUSTRIAL TECHNOLOGY

PROJECT ADVISOR

MR.CHOVALIT BENJANGKAPRASERT

MISS.MONCHANOK SRISIAKAM

ACCEPTED BY THE FAEULTY OF ENGINEERING
 KING MINGKUT'S INSITITUTE OF TECHOLOGY LADGRABANG
 IN PARTIAL FULFILLMENT
 OF THE REQUIREMENT FOR THE BACHELOR'S DEGREE

PROJECT REPORT COMMILTER

CHAIRMAN

(_____)

MEMBER

(_____)

MEMBER

(_____)

MEMBER

(_____)

MEMBER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่ได้ขออนุญาตแล้ว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและคิดราคาไฟฟ้า

โดย นายพลรัฐ วิจิตร

นายมงคล ศิริศล

นายรุ่ง พันธุ์งาม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

อาจารย์มนชนก ศรีเลื้อขาม

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นความคิดที่นำไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ให้มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดราคาค่าไฟฟ้าจึงได้กำเนิดขึ้น วงจรประกอบด้วยส่วนที่แสดงผลกำลังงานไฟฟ้าและหน่วยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานต่อเวลาเป็นชั่วโมง การทำงานของวงจร จะรับกระแสไฟฟ้าที่ต่อคู่ร่วมกับโพลต์ ผ่านไอซีตรวจจับสัญญาณแรงดันและตรวจจับสัญญาณกระแสของโพลต์ แล้วจึงนำสัญญาณกระแสและแรงดันมาคูณกัน สัญญาณที่ได้มานั้นจะแสดงผลเป็นวัตต์มิเตอร์ สัญญาณที่ได้จากวงจรข้างต้นจะนำไปสร้างเป็นสัญญาณ VCO แล้วนำไปป้อนให้กับวงจรให้กับไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อทำการประมวลผลและคำนวณออกมาเป็นค่าพลังงานที่ใช้ไปและคิดราคาค่าไฟฟ้าโดยจะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขโตชใช้ LCD

Project Report Title AUTOMATIC UNIT COST DIGITAL WATT HOUR METER

Name Mr.Ponrat Vividwon

 Mr.Mongkol Siridol

 Mr.Rung Panngam

Project Report Advisor Mr.Choavalit Benjangkprasert

 Miss.Monchanok Sriseokham

Department Industrial Technology

Adcademic Year 1995

Abstract

This project is to use microprosesser aply to be the measurement. Consist of display segment which can diplay unit(KW/H) and cost unit

The principle of circuit system;it will lead the current which be flown to load and will be multiplied by voltage.The result will be watt meter and then exchanged leading to VCO.The output from VCO will be chang to input asinmicroprocessor in order to compute unit(KW/H) and cost of unit,then show the result at LCD.

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยการใช้รับคำแนะนำตลอดจนความร่วมมือความช่วยเหลือเป็น
อย่างดีจากทุกๆท่าน

ขอขอบคุณ กองระบบการกำลังและอาคารที่ 2 องค์การโทรศัพท์ฯ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่
และเครื่องมืออย่างมากมาย

ขอขอบคุณ ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในการให้เอกสารอ้างอิงรวม
ทั้งแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการให้เอกสาร
อ้างอิงในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสารอ้างอิง
และเครื่องมือในการทดลอง

ขอขอบคุณ เพื่อนสันติ ที่ให้ยืม Supply

ท้ายสุดของกิติกรรมประกาศนี้ ขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ที่เป้นกำลังใจตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทที่ 1 ความมุ่งหมายของปริญยานิพนธ์.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 จุดประสงค์ของปริญยานิพนธ์.....	1
บทที่ 2 เครื่องวัดทางไฟฟ้า.....	2
2.1 กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	2
2.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....	4
2.3 การวัดกำลังไฟฟ้า.....	8
2.4 การวัดมุมระหว่างเฟสและเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	12
2.5 การวัดความถี่.....	13
2.6 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ.....	13
2.7 เครื่องวัดชนิดขั้นตัวเลข.....	18
บทที่ 3 เขาคิดค่าพลังงานไฟฟ้ากันอย่างไร.....	25
3.1 ประเภทต่างๆ ของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า.....	25
3.2 ศัพท์ของการคิดค่าพลังงานไฟฟ้า.....	29
3.3 จะลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างไร.....	30
3.4 การวัดปริมาณทางไฟฟ้า.....	34
บทที่ 4 หลักการการทำงานการสร้างและการนำไปใช้งาน ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....	41
4.1 บทนำ.....	41
4.2 พื้นฐานการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....	41
4.3 วงจรการทำงาน.....	42
4.4 ลายพิมพ์และการวางอุปกรณ์.....	44
4.5 โครงสร้างและการปรับแต่ง.....	

โปรแกรม.....	50
บทที่ 5 บทสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก	
สูตรพื้นฐานต่างๆ ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	61
รายละเอียดอุปกรณ์เบอร์ต่างๆ.....	61



บทที่ 1

ความมุ่งหมายของปริวิตานีพนธ์

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าในครัวเรือนมีจำนวนมากขึ้น จึงทำให้ต้องมีการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ให้เป็นไปอย่างประหยัดและมีประโยชน์สูงสุด พลังงานไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้าน เราสามารถที่จะทราบได้ว่ามีเท่าไร ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงค่าใช้จ่ายโดยประมาณ เพื่อเป็นส่วนประกอบในการประหยัดพลังงาน เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า จะคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ให้เราทราบได้ ดังนั้น เราสามารถที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ เมื่อเราเห็นว่า ค่าใช้จ่ายสูงแล้ว โดยการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัด

1.2 จุดประสงค์ของปริวิตานีพนธ์

วัตถุประสงค์ในการสร้างเครื่องนี้ขึ้นมาเพราะเครื่องนี้สามารถนำไปใช้วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านอยู่อาศัย โดยที่การติดตั้งไม่ลำบากยุ่งยาก เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยมาก เพราะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำมาก และยังสามารถคิดราคาไฟฟ้าได้ โดยการนำค่าพลังงาน (watt) ไปคำนวณ โดยไมโครโปรเซสเซอร์แบบชิปเดี่ยว และเก็บคำสั่งใน Eprom

ในเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้านี้ จะนำกระแสและแรงดันที่ผ่านโหลด โดยการผ่านส่วนที่ตรวจจับสัญญาณกระแส (Current Sensor) และตรวจจับสัญญาณแรงดัน (Voltage Sensor) กระแสและแรงดันดังกล่าวจะถูกนำมาคูณกันโดย Four-quadrant multiplier แสดงผลเป็นวัตต์ (watt) โดยใช้มิเตอร์แบบ moving-coil จากสัญญาณ out put ของวัตต์มิเตอร์ จะถูกส่งเข้าไปเป็น input ของวงจรเพื่อสร้างสัญญาณ VCO ความถี่ VCO เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังงานที่วัดโดยวัตต์มิเตอร์ เมื่อกำลังงานสูงขึ้น ความถี่ VCO ก็จะมีสูงขึ้น สัญญาณ VCO จะถูกส่งเข้าไปไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผลออกมา

บทที่ 2 เครื่องวัดทางไฟฟ้า

2.1 กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์

ก่อนอื่นจะขออธิบายความหมายของกำลังไฟฟ้า เพาเวอร์แฟกเตอร์และค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องขอเป็นสังเขปเสียก่อน

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กำลังไฟฟ้า P ที่ใช้ไปในความต้านทานที่เป็นโหลด R จะมีค่าเป็นดังนี้

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

โดยที่ V เป็นแรงดันคร่อมโหลด และ I เป็นกระแสที่ไหลผ่านโหลด

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในโหลด ขณะที่แรงดันคร่อมโหลดเท่ากับ v และกระแสในโหลดเท่ากับ i เป็นกำลังไฟฟ้าแต่ละขณะ (instantaneous power) p ซึ่งมีค่าเป็น

$$p = vi$$

สมมติว่าแรงดันคร่อมโหลดเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับรูปไซน์ ที่มีสมการเป็น $v = V \sin \omega t$

ถ้าโหลดมีความต้านทานเป็น R กระแสที่ไหลผ่านโหลด i จะเขียนได้เป็น

$$i = \frac{V}{R} \sin \omega t = I \sin \omega t$$

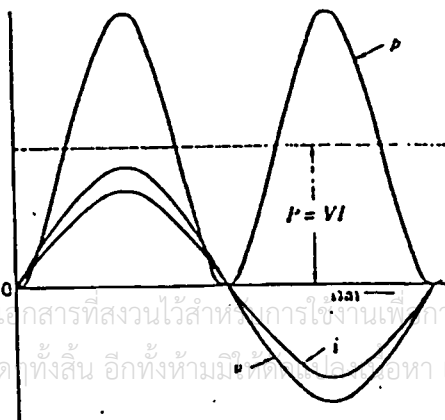
เพราะฉะนั้น p จะเขียนได้เป็น

$$p = V I \sin^2 \omega t$$

และจะได้

$$p = \frac{V I}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

สมการข้างบนนี้ได้เขียนรูปแสดงไว้ให้ดูในรูป 2.1 เช่นเดียวกันกับค่าจำกัดความของค่าประสิทธิภาพ ค่าเฉลี่ย



รูป 2.1 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในโหลด

ของ p ในหนึ่งช่วงเวลาครบรูปซึ่งก็คือกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ย P จะมีค่าเป็น

$$P = \frac{V I}{2} = VI \cos \phi = \frac{V^2}{R}$$

โดยให้ V และ I เป็นค่าประสิทธิภาพของ และ ตามลำดับ

สมการนี้มีรูปแบบเดียวกันกับสมการ (1.36) ซึ่งเป็นสมการสำหรับกระแสตรง P ในสมการนี้เรียกว่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

ถ้าโหลดเป็นตัวรีแอคทีฟ (reactive element) เช่นอินดักแทนซ์ L เป็นต้น

$$i = \frac{V}{\omega L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = I \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

ดังนั้น เราจะได้

$$p = V I \sin \omega t \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{V I}{2} \sin 2\omega t$$

สมการนี้เขียนรูปแสดงไว้ให้ดูในรูป 2.2 จากรูปนี้หมายความว่าเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากต้นกำเนิดให้แก่อินดักแทนซ์ ในครึ่งช่วงเวลาครบรูปแรกมันจะเก็บพลังงานไว้ในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าและจะจ่ายกลับคืนให้แก่ต้นกำเนิดในครึ่งช่วงเวลาครบรูปต่อไป นั่นคือโดยเฉลี่ยแล้วอินดักแทนซ์จะไม่ใช้กำลังไฟฟ้าเลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์

ต่อไปสมมติว่าโหลดคือ $Z = R + jX$ ซึ่ง R เป็น ค่าความต้านทานและ X เป็น ค่ารีแอคแทนซ์ เราจะได้

$$i = I \sin \omega t$$

$$p = V I \sin \omega t \sin(\omega t - \phi)$$

โดย $\tan \phi = X/R$ และเราจะได้

$$P = VI \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \phi \sin 2\omega t$$

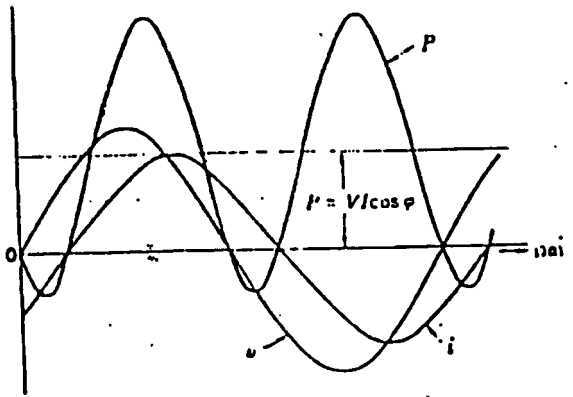
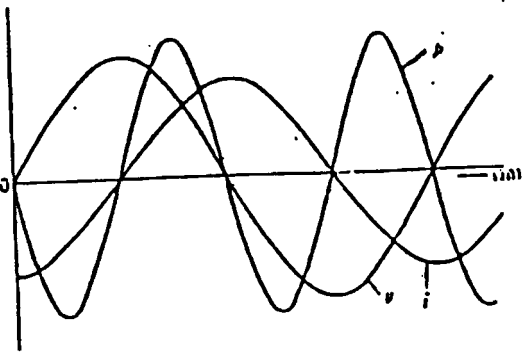
ความสัมพันธ์นี้ได้แสดงไว้ในรูป 2.3 และในกรณีนี้ กำลังเฉลี่ย P จะมีค่าเป็นดังนี้

$$P = VI \cos \phi$$

โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่ว่า $\cos \phi = R/\sqrt{R^2 + X^2}$

เราจะหาต่อไปได้ว่า

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$



รูป 2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในโวลต์ซีคอนคักต์ฟ

รูป 2.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในโวลต์ท้าว ไป

ทั้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปแล้วกำลังเฉลี่ยในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับแสดงได้โดยผลคูณของแรงดันประสิทธิผลคร่อมโวลต์ กับกระแสประสิทธิผลที่ไหลผ่านโวลต์ กับค่า cosine ของมุมระหว่างเฟสของแรงดันกับกระแส กำลังเฉลี่ยนี้จะมีค่าเท่ากับกำลังที่ใช้ไปในความต้านทานของโวลต์กำลังนี้จึงเรียกว่า กำลังประสิทธิผล ส่วนกำลังแต่ละขณะซึ่งมีค่าเท่ากับ $VI \sin \phi$ อันเป็นกำลังที่ถ่านเทไปมาระหว่างต้นกำเนิดกำลัง กับรีแอคแตนซ์ของโวลต์โดยไม่มีการสิ้นเปลืองไป เรียกว่ากำลังรีแอคทีฟ ค่าของ VI เรียกว่า กำลังที่ปรากฏ (apparent power) และค่าของ $\cos \phi$ เรียกว่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor)

2.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์)

กำลังไฟฟ้าแสดงได้โดยผลคูณของแรงดันกับกระแสสำหรับกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง และโดยผลคูณของแรงดันประสิทธิผลกับกระแสประสิทธิผลกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโวลต์ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นในการวัดกำลังไฟฟ้าการคูณดังกล่าวจะต้องกระทำโดยวิธีใดวิธีหนึ่งในสามวิธีที่แบ่งคร่าว ๆ ไว้ดังต่อไปนี้

- 1) โดยการใช้อุปกรณ์ที่ให้ผลคูณได้
- 2) โดยการใช้อุปกรณ์ที่แยกวงจรการคูณต่างหากจากกัน
- 3) โดยการใช้อุปกรณ์ที่วัดได้โดยทางอ้อม

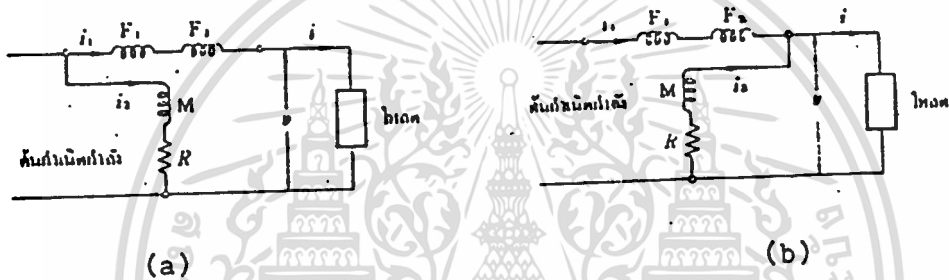
เครื่องวัดที่ใช้ในข้อ 1) และ 2) ก็คือเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์) สำหรับในข้อ 1) เป็นเครื่องวัดชนิดโอเลคโทรไดนามิเตอร์ หรือชนิดเหนี่ยวนำ ส่วนในข้อ 2) เป็นเครื่องวัดชนิดเทอร์โมคัปเปิล หรือชนิดอื่นที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 วัดคิมิเตอร์ชนิดคือเลกโทรไดนาโมมิเตอร์

(ก) หลักการ

คงได้อธิบายมาแล้วว่า เครื่องวัดชนิดคือเลกโทรไดนาโมมิเตอร์มีคอยล์อยู่คู่หนึ่งคือคอยล์ที่อยู่กับที่กับคอยล์ที่หมุนได้ และเข็มชี้จะชี้ไปเป็นปฏิภาคกับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านคอยล์ทั้งสองนั้น ถรวานี้เอาเครื่องวัดนี้มาต่อให้เป็นวงจรถึงแสดงในรูป 2.4 (a) หรือ (b) โดยให้กระแส i_1 ที่ไหลผ่านคอยล์อยู่กับที่เป็นปฏิภาคกับกระแส i ที่ไหลผ่านโพลค และให้กระแส i_2 ที่ไหลผ่านคอยล์หมุน เป็นปฏิภาคกับแรงดัน v ที่คร่อมโพลค



(a)

(b)

รูป 2.4 วงจรของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดคือเลกโทรไดนาโมมิเตอร์

แรงบิดที่เกิดขึ้นในเครื่องวัดนี้จะมีค่าเป็นปฏิภาคกับ $i_1 i_2 = Kvi$ โดย K เป็น

ค่าคงที่ และเป็นปฏิภาคกับกำลังของโพลค v_i ในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ

$$i_1 i_2 = Kvi = KVI[\cos\phi - \cos(2\omega t - \phi)]$$

ซึ่งหามาได้จากการสมมุติให้ $v = V \sin\omega t$ $i = I \sin(\omega t - \phi)$ และ i_2 มีเฟสเดียวกันกับ v ถ้าความถี่ของ v และ i มีค่าสูงเป็นหลาย ๆ เฮิรตซ์ ส่วนที่เคลื่อนไหวก็จะหมุนไปตามผลคอบที่มีแต่เฉพาะคอบค่า $VI\cos\phi$ ที่อยู่ทางขวามือของสมการเท่านั้น ค่า $VI\cos\phi$ นี้จึงแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในโพลค

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าไม่ว่าในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ การที่บ่งของวัดคิมิเตอร์ชนิดคือเลกโทรไดนาโมมิเตอร์ย่อมเป็นปฏิภาคกับกำลังที่ใช้ไปในโพลค

สำหรับการต่อวัดคิมิเตอร์อาจทำได้สองวิธีดังแสดงในวงจรถึง (a) และ (b)

ของรูป 2.4

(ช) คุณลักษณะ

เนื่องจากเครื่องวัดชนิดนี้เป็นเครื่องวัดประเภทที่ใช้ได้ทั่วไป (universal type) จึงใช้วัดกระแสสลับได้ด้วยหลังจากที่ได้รับการปรับเทียบกับกระแสตรงแล้ว ในกรณีนี้ ค่าอินตักแทนซ์ของคอยล์หมุนจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการวัดโดยทำให้กระแส i_2 มีมุมของเฟสล่าหลังลงไป เมื่อเทียบกับ v ซึ่งการล่าหลังนี้ได้รับการยกเว้นไม่กล่าวถึงในคำอธิบายตอนต้น นั่นคือค่ามุมต่างของเฟสระหว่าง v กับ i_2 เป็น a ดังแสดงในรูป 2.5 เราจะเขียนได้ว่า $i_2 = K'V \sin(\omega t - a)$ และจะได้สมการต่อไปนี้ คือ

$$i_1 i_2 = KVI [\cos(\phi - a) - \cos(2\omega t - \phi - a)]$$



รูป 2.5 เวกเตอร์โคจรแอมของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดโอโวลท์โอมไมเตอร์

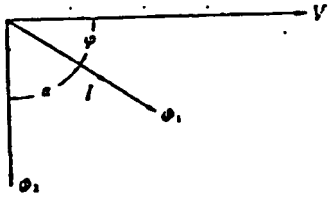
โดยมีข้อแม้ว่า $K' = K$

ดังนั้นวัตต์มิเตอร์จะชี้บ่งค่าที่เป็นปฏิภาคกับ $V \cos(\phi - a)$ เนื่องจากมุม a มีขนาดเล็ก ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก a จึงมีน้อยเมื่อ $\phi = 0$ ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดมีค่าใกล้ 1 อย่างไรก็ตามเมื่อมุม ϕ โคขึ้นหรือเพาเวอร์แฟกเตอร์ลดลง ความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก a จะมีมากขึ้นจนไม่สามารถละทิ้งเสียได้ ดังนั้นในการวัดกำลังไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำจึงควรต้องใช้วัตต์มิเตอร์ที่มีมุม a น้อยซึ่งจะบ่งไว้โดยเฉพาะว่าใช้ในการวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

2.2.2 วัตต์มิเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ

เครื่องวัดชนิดเหนี่ยวนำก็ประกอบด้วยคอยล์คู่หนึ่งซึ่งเป็นอิสระต่อกัน ทำให้เกิดแรงบิดที่เป็นปฏิภาคกับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านคอยล์ทั้งสองนั้นขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตต์มิเตอร์ได้ ในกรณีนี้ ϕ_1 ถูกสร้างขึ้นโดยกระแส I ที่ไหลผ่านโหลด และ ϕ_2 เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันคร่อมโหลด ϕ_2 ถูกทำให้ล่าหลัง v อยู่เป็นมุม 90° ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสเหล่านี้แสดงไว้ในรูป 2.6 และค่าของ $\sin a$ จะเขียนได้เป็น

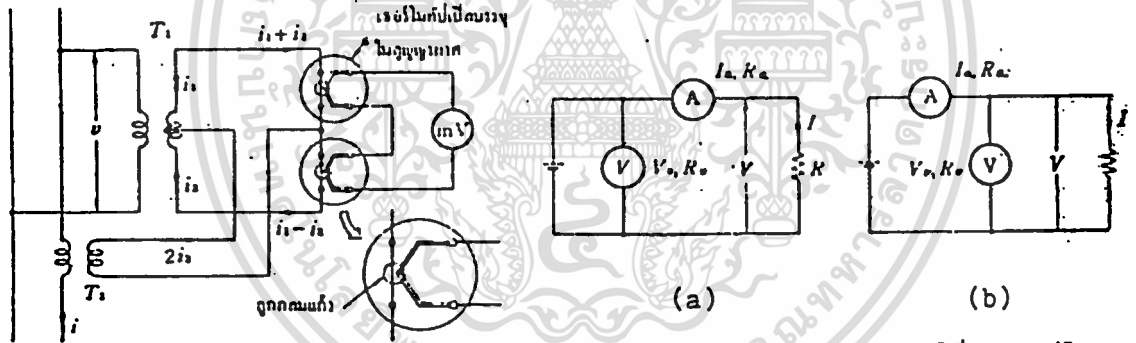
$$\sin a = \cos \phi$$



รูป 2.6 เวกเตอร์ไอและแอมมของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ

เพื่อให้ ϕ_2 ล้าหลัง v ถึง 90° ก็จะต้องเพิ่มจำนวนรอบของคอยล์ขึ้นให้มากพอที่จะถือได้ว่าคอยล์นั้นเป็นอินดักแทนซ์บริสุทธิ์ ในสภาพเช่นนี้จะทำให้ค่าของ ϕ_2 เป็นปฏิภาคกับ v w และค่าของ $w\phi_1\phi_2 \sin a$ ในสมการซึ่งเป็นสมการของแรงบิดจะเขียนได้เป็น

$$w\phi_1\phi_2 \sin a = KVI \cos \phi$$



รูป 2.8 การวัดกำลังไฟฟ้าโดยวิธีใช้โวลท์มิเตอร์

รูป 2.7 หลักการของวัตต์มิเตอร์ชนิด เรอร์โมคัปเปิล และแอมมิเตอร์

โดยวิธีนี้ก็จะสามารถใช้เครื่องวัดชนิดนี้วัดกำลังไฟฟ้า วัตต์ชนิดนี้มักใช้เป็นเครื่องวัดแบบมุกกว้างสำหรับติดตั้งบนแผงสวิทช์

2.2.3 วัตต์มิเตอร์ชนิด เรอร์โมคัปเปิล

วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้เป็นตัวอย่างของวัตต์มิเตอร์ประเภทนี้แยกวงจรคูณต่างหากจกกัน รูปแบบของมันเป็นดังที่แสดงไว้ในรูป 2.7 สมมุติให้กระแสส่วนที่เป็นปฏิภาคกับแรงดันคร่อมโหลด และส่วนที่เป็นปฏิภาคกับกระแสที่ไหลผ่านโหลดเป็น $i_1 = k_1 v$ และ $i_2 = k_2 i$ ตามลำดับ เราจะได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(i_1+i_2)^2-(i_1-i_2)^2 = 4i_1i_2 = 4k_1k_2vi$$

ค่าเฉลี่ยของจำนวนทางขวามือของสมการนี้ ภายในหนึ่งช่วงเวลาครบรูปจะเป็นปฏิภาคกับกำลังที่โหลดได้รับหลักการนี้ได้นำไปใช้กับวัตต์มิเตอร์ชนิดเทอร์โมคัปเปิล ตามที่แสดงไว้ในรูป i_1k_1v เป็นกระแสทางค้ำทุติยภูมิ (secondary current) ของหม้อแปลง T_1 และ $2i_2=2k_2i$ เป็นกระแสทางค้ำทุติยภูมิของหม้อแปลง T_2 เมื่อให้ความร้อนแก่เทอร์โมคัปเปิลชนิดสูญญากาศตัวหนึ่งโดยกระแส (i_1+i_2) และแก่อีกตัวหนึ่งโดยกระแส (i_1-i_2) ก็จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อน ซึ่งเป็นปฏิภาคกับกำลังสองของกระแสจากเทอร์โมคัปเปิลคู่นั้น ถ้านำเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองนั้นมาต่อกันโดยกลับขั้วกันเสีย แล้ววัดผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลคู่นั้นด้วยมิลลิโวลต์มิเตอร์ มิเตอร์ตัวนั้นก็จะเป็นปฏิภาคกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการวัด วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าในย่านความถี่เสียงหรือกำลังที่มีค่าน้อย ๆ

ปัจจุบันนี้ ได้มีการสร้างวัตต์มิเตอร์ระเภทที่แยกวงจรคูณต่างหากจากกันขึ้นหลายแบบ ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เฉพาะกิจ

2.3 การวัดกำลังไฟฟ้า

2.3.1 การวัดกำลังไฟฟ้าด้วยโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์

กำลังไฟฟ้ากระแสตรงสามารถวัดได้โดยการใช้โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ต่อในวงจรดังแสดงในรูป 2.8 ในกรณีเช่นนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในเครื่องวัดด้วย

สมมุติให้ R เป็นความต้านทานของโหลด V เป็นแรงดันคร่อมโหลดและ I เป็นกระแสที่ไหลผ่านโหลดโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์มีความต้านทานในตัว R_v และ R_a อ่านค่า V_a และ I_a ตามลำดับ ตามรูป (a) จะได้ว่า

$$V_a = IR + IR_a$$

และ

$$I_a = I$$

กำลังที่วัดได้ W จะเป็น

$$W = I^2 R = V_v I_a - I_a^2 R_a$$

ทำนองเดียวกันตามรูป (b) จะได้

$$W = VI = V_v I_a \frac{V_a^2}{Rv}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าความต้านทานในตัวของโวลท์มิเตอร์ในรูป (b) เป็น 10 กิโลโห์มค่าที่โวลท์มิเตอร์อ่านได้เป็น 100V และค่าที่แอมมิเตอร์อ่านได้เป็น 5A กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับจะเป็น

$$W = 100 \times 5 - (100^2 / 10) = 499 \text{ วัตต์}$$

การพิจารณาว่าควรจะใช้วิธีการต่อตั้งในรูป (a) หรือ รูป (b)

ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าเราทราบค่าแรงดัน V กระแส I และมุมต่างระหว่างเฟส ϕ หรือเพาเวอร์แฟกเตอร์ $\cos \phi$ เราก็สามารถคำนวณหาค่า W ได้จาก $VI \cos \phi$

2.3.2 การวัดโดยวิธี 3 โวลท์มิเตอร์ และวิธี 3 แอมมิเตอร์

กำลังไฟฟ้าเฟสเดียว (single-phase power) สามารถวัดได้โดยการใช้โวลท์มิเตอร์ 3 ตัว หรือแอมมิเตอร์ 3 ตัว รูป 2.9 แสดงถึงการวัดโดยวิธี 3 โวลท์มิเตอร์และรูป 2.10 เป็นวิธี 3 แอมมิเตอร์

สำหรับวิธี 3 โวลท์มิเตอร์ ให้การขั้วของโวลท์มิเตอร์เป็น V_1 , V_2 และ V_3 เราจะได้

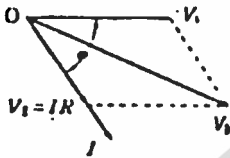
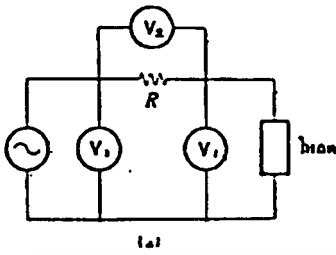
$$V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 = 2V_1 V_2 \cos \phi$$

$$W = V_1 I \cos \phi = \frac{V_2}{1R} \cos \phi$$

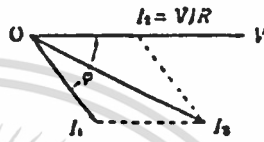
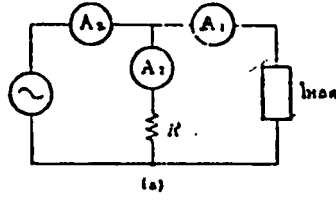
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_1^2)$$



(b)



(b)

รูป 2.9 การวัดแบบ 3 โวลต์มิเตอร์

รูป 2.10 การวัดแบบ 3 แอมมิเตอร์

สำหรับวิธี 3 แอมมิเตอร์ ให้การชี้บ่งของแอมมิเตอร์เป็น I_1, I_2 และ I_3 เราจะได้

$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \cos \phi$$

$$W = VI_1 \cos \phi = I_2 R I_1 \cos \phi$$

$$= \frac{R}{2} (I_3^2 - I_2^2 - I_1^2)$$

2.2.3 การวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

กำลังไฟฟ้าในวงจร 3 เฟส 3 สายสามารถวัดได้โดยใช้วัตต์มิเตอร์เฟสเดียวเพียง 2 ตัว ดังแสดงในรูป 2.11 (a) แล้วรวมค่าที่อ่านได้ทั้งสองโดยวิธีพีชคณิต นั่นคือถ้าลำดับของเฟส เป็น 1-2-3 เมื่อดูตามรูป 2.11 (b) แล้ว ค่าที่อ่านได้คือ w_1 และ w_2 จะมีค่าเป็นดังนี้

$$w_1 = V_{12} I_1 \cos(\theta_1 + \phi_1)$$

$$w_2 = V_{23} I_3 \cos(\theta_3 - \phi_3)$$

ถ้าแรงดันในวงจรนี้ได้สมมูลย์กัน (คือมีค่าเท่ากันทุกเฟส และมีมุมระหว่างเฟสเป็น 120 องศา) แล้ว $V_{12} = V_{23} = V_{31}$ และ $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$ และถ้าโหลดของทั้งสามเฟสได้สมมูลย์กัน เราจะได้ $I_1 = I_2 = I$ และ $\phi_1 = \phi_3 = \phi$ ดังนั้น

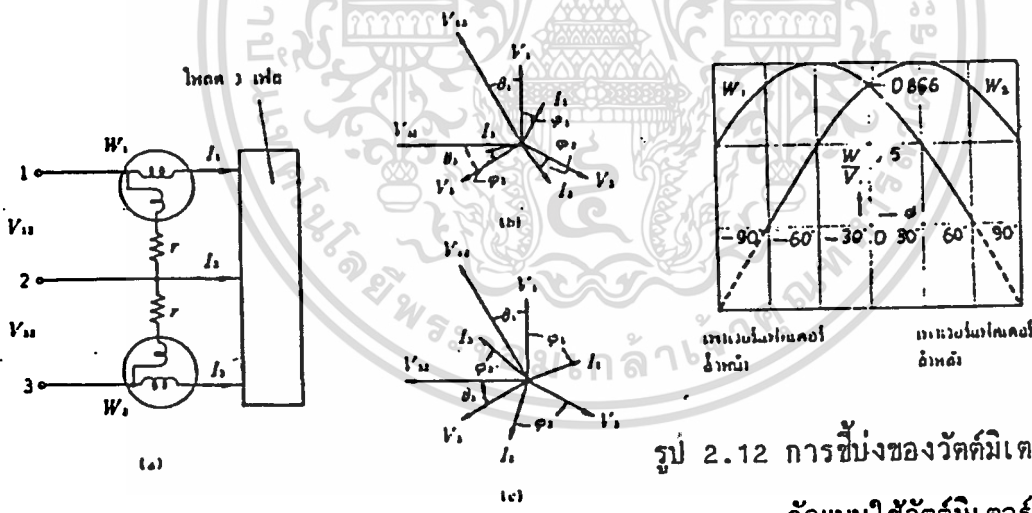
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_1 = VI \cos(30^\circ + \phi)$$

$$W_2 = VI \cos(30^\circ - \phi)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ กับ W_1 และ ϕ กับ W_2 ได้แสดงไว้ในรูป 2.12 เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำกว่า 0.5 (นั่นคือ $|\phi| > 60^\circ$) ทั้งแสดงด้วยเส้นประในรูป 2.12 ค่าของ W_1 หรือ W_2 ถ้าใดค่าหนึ่งจะเป็นลบและเข็มชี้ของวัตต์มิเตอร์ตัวนั้นจะชี้ไปในทางลบ เราต้องกลับขั้วของคอยล์รับแรงดันของวัตต์มิเตอร์ เพื่อให้เข็มชี้ค่าบวก แล้วนำค่าที่อ่านได้นั้นไปลบออกจากค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์อีกตัวหนึ่ง

เป็นหลักการโดยทั่วไปว่า กำลังไฟฟ้าในวงจรที่มี n เฟส และ n สาย สามารถวัดได้โดยใช้วัตต์มิเตอร์เฟสเดียวจำนวน $(n-1)$ ตัว โดยให้สายใดสายหนึ่งใน n สายนั้น เป็นสายร่วมและสายอื่น ๆ อีก $(n-1)$ สายเป็นสายจ่ายกำลัง หลักการดังกล่าวนี้เรียกว่าทฤษฎีของบลอนเดล (Blondel's theorem)



รูป 2.12 การชี้ของวัตต์มิเตอร์ในการวัดแบบใช้วัตต์มิเตอร์ 2 ตัว

รูป 2.11 การวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้วัตต์มิเตอร์ 2 ตัว

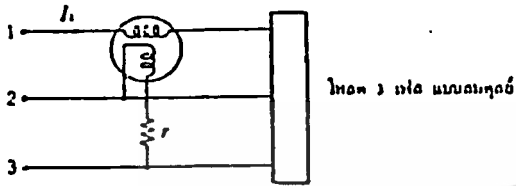
2.2.4 การวัดกำลัง รีแอกทีฟ

กำลังรีแอกทีฟ Q สามารถคำนวณได้จาก $VI \sin \phi$ เมื่อเรารู้ค่าแรงดัน V กระแส I และมุมของเฟสต่าง ϕ หรืออีกประการหนึ่ง เมื่อวัดค่า V, I และกำลัง P ได้แล้วนำมาคำนวณโดยสมการ

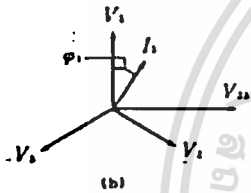
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \sqrt{(VI)^2 - W}$$

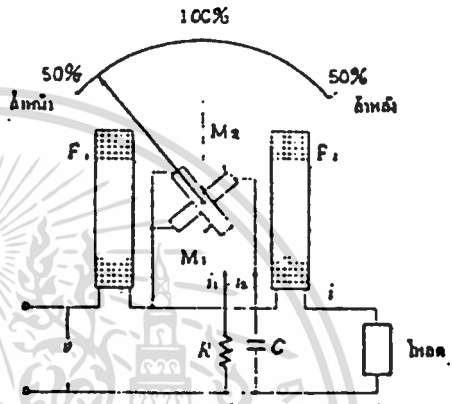
นอกจากนี้ เรายังสามารถวัดค่าของมุมได้ด้วยโดยทำให้มุมของกระแสที่ไหลผ่านคอยล์รับแรงดันของวัตต์มิเตอร์เลื่อนออกไปอีก 90° จากมุมของแรงดันระหว่างสาย



(a)



(b)



รูป 2.14 หลักการของเครื่องวัดเพาเวอร์-แฟกเตอร์ชนิดอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

รูป 2.13 การวัดกำลังไม่ปรากฏของโวลต์ 3 เฟส แบบสมดุลย์

ถ้าวงจร 3 เฟสนั้นได้สมดุลทั้งแรงดันและโวลต์ ให้ต่อ V_{23} เข้ากับวงจรแรงดันของวัตต์มิเตอร์ดังในรูป 2.13 (a) V_{23} จะล่าหลัง V_1 อยู่เป็นมุม 90° ดังในรูป 2.13 (b) และขนาดของ V_{23} จะมากเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของ V_1 ดังนั้นวัตต์มิเตอร์จะวัดค่า $\sqrt{3} VI \sin \phi$ เราจะได้กำลังรีแอกทีฟทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับ $3VI \sin \phi$ โดยคูณค่าที่วัตต์มิเตอร์อ่านได้ด้วย $\sqrt{3}$ ในกรณีที่วงจรเป็นแบบกระแสล้าหน้า (leading current) ให้ใช้ V_{32} แทน V_{23}

2.4 การวัดมุมระหว่างเฟสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

เราจำเป็นต้องวัดแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า หรือใช้วิธี 3 แอมมิเตอร์วัดเสียก่อนแล้วจึงนำผลที่ได้มาคำนวณมุมระหว่างเฟส หรือเพาเวอร์แฟกเตอร์ ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ เครื่องวัดชนิดอัตราส่วน (ratio meter) ยังสามารถนำมาใช้วัดมุมระหว่างเฟสหรือเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้ จะยกเอากรณีของเครื่องวัดชนิดอัตราส่วนแบบอิเล็กทรอนิกส์-ไดนาโมมิเตอร์มาเป็นตัวอย่าง ให้กระแสที่ไหลผ่านคอยล์หมุน M_2 ลำหน้ากระแสที่ไหลผ่าน M_1 ของเครื่องวัดชนิดอัตราส่วนแบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นมุม 90° โดยการต่อ R และ C ที่มีค่าเหมาะสมกันคู่หนึ่งเข้าในวงจรดังแสดงในรูป 2.14 นอกจากนั้นให้ $k_1 i_1 = k_2 i_2$ เนื่องจาก $\phi_2 = \phi_1 + 90^\circ$ จะเห็นได้ว่า

$$\phi_1 = \theta$$

ดังนั้นเราจะทราบค่ามุมของเฟสของโหลด ϕ_1 และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ $\cos \phi_1$ ได้จากมุม θ ที่คอยล์หมุนไป

2.5 การวัดความถี่

สำหรับการวัดความถี่เราอาจใช้วิธีวัดด้วยเครื่องชี้บ่งทางไฟฟ้า หรือด้วยวิธีอื่น ๆ ที่จะกล่าวถึงในบทที่ 3 โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีวัดด้วยเครื่องวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ก้าวหน้าไปเป็นอย่างมากในระยะหลัง ๆ นี้ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะการวัดด้วยเครื่องชี้บ่งทางไฟฟ้าเท่านั้น

2.5.1 เครื่องวัดความถี่ชนิดก้านสั่น

เมื่อนำเอาก้านสั่น (vibrating reeds) ซึ่งทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าบาง ๆ ที่มีความถี่ตามธรรมชาติแตกต่างกันเล็กน้อยหลาย ๆ อัน มาวางเรียงกันตามลำดับความถี่ของมัน แล้วประยุกต์สนามแม่เหล็กสลับบังคับมาจากไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไป จะมีก้านสั่นก้านหนึ่งเกิดเรโซแนนซ์ขึ้นเมื่อความถี่ตามธรรมชาติของมันมีค่าเท่ากับความถี่ของสนามแม่เหล็กสลับบังคับที่ใช้และจะเกิดอาการสั่นเป็นมุกกว้าง เนื่องจากก้านสั่นได้ถูกออกแบบให้ความกว้างของอาการสั่นลดลงเหลือประมาณ 60% เมื่อได้รับความถี่ที่แตกต่างจากความถี่เรโซแนนซ์ของมันเพียง 0.25 Hz

2.6 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องวัดที่สามารถวัดและรวมค่าของกระแส, กำลัง, กำลังรีแอกทีฟ หรืออื่น ๆ ในทำนองเดียวกันที่จ่ายให้แก่โหลดในช่วงระยะเวลาที่กำหนดช่วงหนึ่ง เรียกว่า เครื่องวัดปริมาณรวมทางไฟฟ้า (electrical integrating instrument) ในจำพวกเครื่องวัดประเภทนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

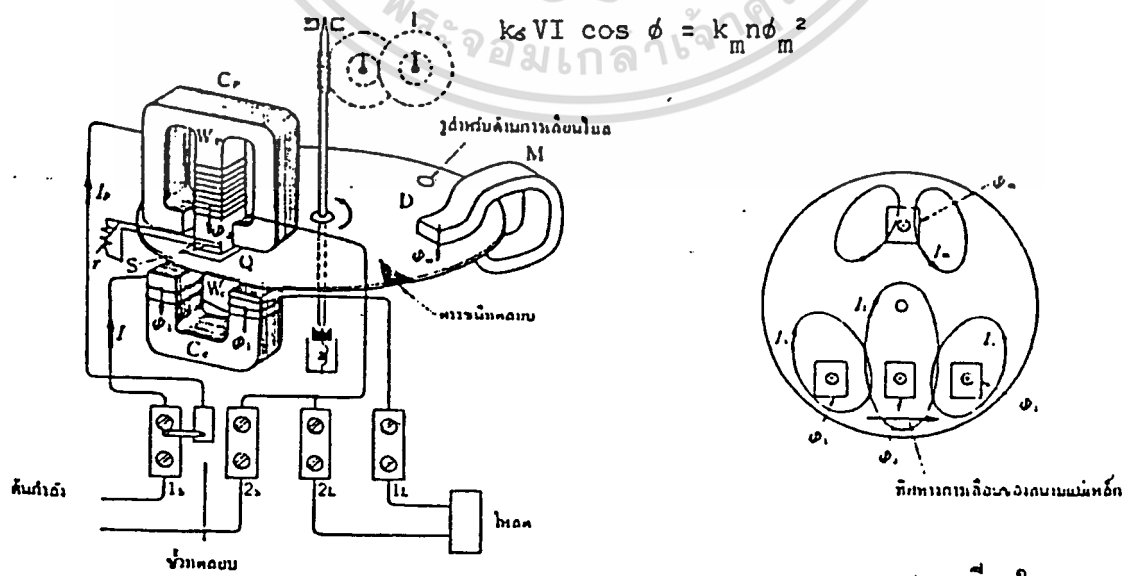
ก็มีเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (electric energy meter) ซึ่งวัดผลรวมของพลังงาน เป็นเครื่องวัดที่สำคัญและใช้กันแพร่หลายที่สุดเพราะใช้วัดในการซื้อขายกำลังไฟฟ้า

หลักการ

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำเป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันแพร่หลายมาก เครื่องวัดชนิดนี้มีอุปกรณ์ขับเคลื่อน (driving device) ที่มีหลักการเช่นเดียวกันกับในวัดคิมิเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูป 2.15 ซึ่งมี C_p เป็นแกนเหล็กสำหรับแรงดัน W_p เป็นชดลวดสำหรับแรงดัน C_c เป็นแกนเหล็กสำหรับกระแสและ W_c เป็นชดลวดสำหรับกระแสและ W_c เป็นชดลวดสำหรับกระแส กระแส I ที่ไหลผ่าน W_c จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_1 W_p มีจำนวนรอบมากพอที่จะถือได้ว่าเป็นอินดักแทนซ์บริสุทธิ์ กระแส I_p ที่ไหลผ่าน W_p จึงล้าหลังแรงดัน V ที่ไหลลุดอยู่ 90° และทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_2 ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้แสดงไว้ในรูป 2.16 จึงเกิดแรงบิดขับ T_d ซึ่งเป็นปฏิภาคกับกำลังที่ไหลลุดขึ้นแก่จานหมุนอลูมิเนียม D ตามสมการ

สมมุติว่าจานหมุน D หมุนโดยแรงบิดขับนี้ ด้วยอัตราเร็วของการหมุน n จาน D จะหมุนตัดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_m ของแม่เหล็กถาวร และมีกระแสวนเวียนเกิดขึ้นในเนื้อจานบริเวณนั้นอย่าง เป็นปฏิภาคกับ $n\phi_m$ ขณะเดียวกันกระแสวนเวียนนี้ก็ตัดฟลักซ์ ϕ_m ด้วยจึงเกิดแรงบิดหน่วง T_a ขึ้นแก่จาน D โดยเป็นปฏิภาคกับ $n\phi_m^2$ ถ้าหากว่า T_d และ T_a ได้สมดุลย์กัน เราจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$k_s VI \cos \phi = k_m n \phi_m^2$$



รูป 2.16 แสดงกระแสวนเวียนในจานหมุน

รูป 2.15 หลักการของเครื่องวัดพลังงานกระแสสลับ ชนิดเหนี่ยวนำ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$n = \frac{k_d}{k_m d_m^2} VI \cos \phi$$

โดยที่ k_d และ k_m เป็นค่าคงที่

ซึ่งแสดงว่าอัตราเร็วของการหมุนของจาน D เป็นปฏิภาคกับกำลังที่โหลด $VI \cos \phi$ ดังนั้นจำนวนรอบ n ที่จานหมุนไปในเวลาที่กำหนดช่วงหนึ่งจึงเป็นปฏิภาคกับพลังงานที่ต้องการ วัตต์ในช่วงเวลานั้นโดยการติดเฟืองทดแบบตัวหนอน (worm gear) เข้ากับแกนหมุนของจานเพื่อให้ไปหมุนเข็มชี้หรือล้อตัวเลข (numeral wheel) ด้วยอัตราความเร็วที่ต่ำลง เข็มชี้หรือล้อตัวเลขก็จะบ่งปริมาณของพลังงานที่วัดออกมาเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

ความคลาดเคลื่อนและการชดเชย

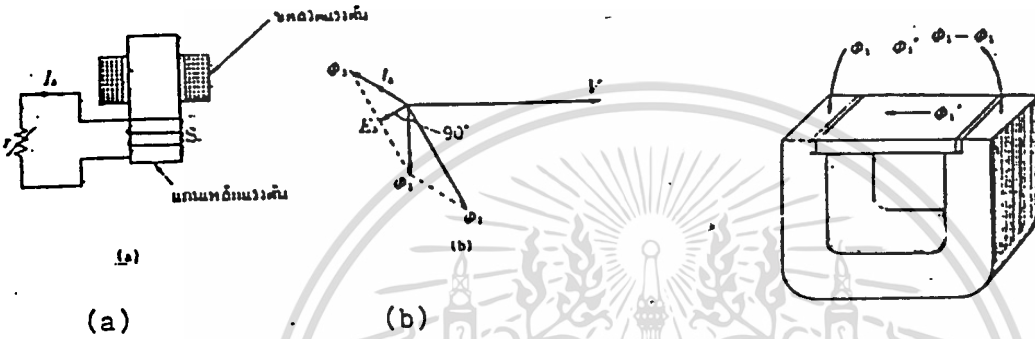
(ก) เครื่องปรับเฟส

เพื่อที่จะให้แรงบิดขับที่เกิดแก่จานหมุนเป็นปฏิภาคกับกำลังของโหลดจำเป็นต้องทำให้ ϕ_2 ล้าหลัง V อยู่ 90° แต่ในทางปฏิบัติมุมระหว่างเฟสนี้จะน้อยกว่า 90° เสมอ เนื่องจากมีความต้านทานและการสูญเสียกำลังในเหล็กของขดลวดสำหรับแรงดัน V_p เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนนี้ จึงต้องมีเครื่องปรับเฟสประกอบอยู่กับแกนเหล็กสำหรับแรงดัน เครื่องปรับเฟสนี้ประกอบด้วยขดลวด S ซึ่งพันไว้หลาย ๆ รอบบนแกนสำหรับแรงดันแล้วค่อปลายทั้งสองเข้ากับความต้านทาน r ดังแสดงในรูป 2.17 ในรูปจะเห็นว่ามีการเส I_a โหลดเนื่องจากฟลักซ์ ϕ_2 (ซึ่งเป็นฟลักซ์ก่อนที่จะมีการปรับเฟส) ทำให้เกิดฟลักซ์ ϕ_a ขึ้น ซึ่งเมื่อรวมกัน ϕ_2 แล้วจะได้ผลรวมเป็น ϕ_2' ที่สามารถปรับให้ล้าหลัง V เป็นเป็นมุม 90° ได้

(ข) เครื่องปรับขณะโหลดมาก

ในขณะที่จานหมุน นอกจากมันจะตัด ϕ_m แล้ว ยังตัด ϕ_1 และ ϕ_2 อีกด้วยซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิด $k_1 n \phi_1^2$ และ $k_2 n \phi_2^2$ ตามลำดับ แรงบิดเหล่านี้เกิดขึ้นในทิศทางที่ต้านการหมุนของจานซึ่งมีผลทำให้มีความคลาดเคลื่อนในทางลบเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่า ϕ_1 และ / หรือ ϕ_2 ในระบบไฟฟ้ากำลังที่เราใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่วัดอยู่แรงดันคร่อมโหลดมักจะมีค่าเกือบคงที่ ซึ่งทำให้ ϕ_2 มีค่าเกือบคงที่ด้วย แต่กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะเปลี่ยนแปลงได้มากทำให้ ϕ_1 เปลี่ยนไปมาก ดังนั้นในกรณีที่มีโหลดมาก ๆ จะเกิดความคลาดเคลื่อนในทางลบขึ้นเนื่องจาก $k_1 n \phi_1^2$

ค่าน้อย นอกจากนั้นยังต้องมีขั้วแม่เหล็กประกบไว้บนแกนสำหรับกระแสลัดด้วย ดังแสดงในรูป 2.18 เรือกระแสไหลลด I หรืออีกนัยหนึ่ง ϕ_1 มีค่าน้อย ขั้วแม่เหล็กจะยอมให้ฟลักซ์ ϕ_1' ซึ่งเป็นเศษส่วนของ ϕ_1 ไหลผ่าน ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวดสำหรับกระแสที่ตัดกับจาน D จะลดลงจาก ϕ_1 เป็น $(\phi_1 - \phi_1')$ อย่างไรก็ตามเมื่อ I เพิ่มขึ้น ϕ_1' จะเพิ่มขึ้นเป็น ϕ_{1m} และแล้วขั้วแม่เหล็กก็จะถึงจุดอิ่มตัวและไม่ยอมให้ฟลักซ์ผ่านเพิ่มได้อีก



รูป 2.17 หลักการของเครื่องปรับเฟส

รูป 2.18 หลักการของเครื่องปรับเฟสขณะ

- โหลดมาก

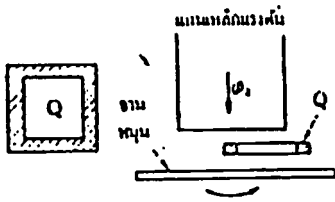
ด้วยเหตุนี้ที่โหลดมาก ๆ ฟลักซ์แม่เหล็กอันเนื่องมาจากกระแสไหลลด ที่ตัดกับจานหมุน หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึงแรงบิดขับจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการเป็นปฏิภาคกับ I ซึ่งเป็นการชดเชยความคลาดเคลื่อนในขณะที่โหลดมาก ๆ

(ก) เครื่องปรับขณะโหลดน้อย

ในขณะที่จาน D หมุนแรงบิดอันเนื่องมาจากความฝืดจะเกิดขึ้นและมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในทางลบ ความคลาดเคลื่อนนี้มีความสำคัญที่โหลดเบา ๆ คือที่กระแสไหลลดมีค่าน้อย เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนนี้จึงต้องติดตั้งเครื่องปรับขณะโหลดน้อยดังแสดงในรูป 2.19 c ที่แสดงในรูปเป็นห่วงทองแดงลัดวงจรที่ใส่ไว้ในระหว่างแกนแรงดันกับจานหมุนในตำแหน่งที่เยื้องออกไปตามทิศทางของการหมุนเล็กน้อย

โดยการทำให้ฟลักซ์เนื่องจากแรงดัน ϕ_2 ส่วนที่ผ่านห่วงลัดวงจรลงไปจะล้าหลังส่วนที่ไม่ผ่านห่วง ดังนั้นจะเกิดปรากฏการณ์เหมือนกับว่าขั้วแม่เหล็กของแกนแรงดันได้เลื่อนตัวไปตามทางที่จานหมุนและมีผลทำให้เกิดแรงบิดขึ้นในทิศทางตามอาการหมุนของจาน โดยการปรับตำแหน่งของห่วงลัดวงจรนี้ให้พอเหมาะ เราก็จะสามารถลบล้างแรงบิดอันเนื่องมาจากความฝืดนั้นได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.19 หลักการของเครื่องปรับเฟสชดเชยโวลตจน้อย

(ง) เครื่องด้านการเลื่อนไถล

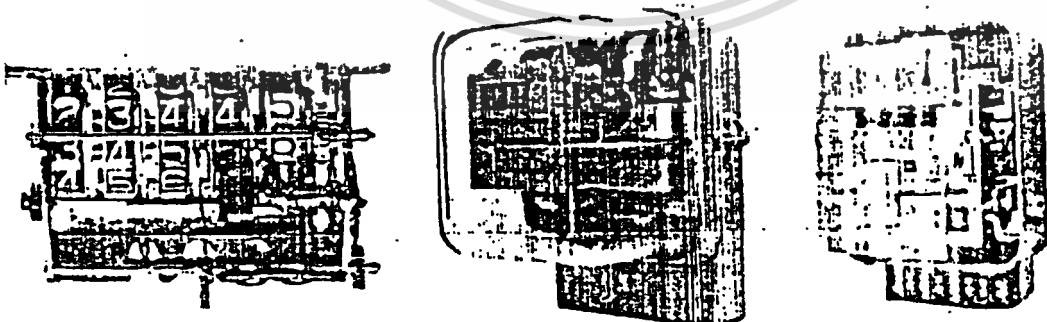
เมื่อกดตั้งเครื่องปรับชดเชยโวลตจน้อยเข้าไปแล้ว งานอาจจะเกิดอาการหมุนขึ้นได้ในขณะที่ไม่มีกระแสโวลตจโดยมีแค่แรงดันที่ชดชวคแรงดันเพียงอย่างเคียว ปรากฏการณนี้เรียกว่า การเลื่อนไถล (creeping) และเพื่อป้องกันอาการนี้เขาจึงเจาะรูเอาไว้นงานหมุน เมื่อรูน หมุนมาอยู่ภายใต้แกนแรงดัน ทางโวลตจบางส่วนของกระแสวงเวียนจะถูกตัดชวคซึ่งทำให้แรงบคใน ชดชวคโวลตจน้อยลงไปที่นี้ จึงทำให้งานหยุดหมุนที่ตำแหน่งนี้

เครื่องบันทึก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมและชั่งจำนวนรอบที่หมุนของงาน เรียกว่า เครื่องบันทึก (registers) เครื่องบันทึกนี้มทั้งที่สร้างเป็นแบบ เลขหมุนโดยใช้ล้อตัวเลข ดังในรูป 2.20(a) และแบบ เข็มชี้จำนวนรอบที่หมุนโดยการทรอบคังในรูป 2.20 (b)

การทดสอบ

ข้อจกักของความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับกรนำเครื่องวัด นั้นไปใช้และได้ถูกจัดแบ่ง



(a)-1

(a)-2

(b)

รูป 2.20 ตัวอย่างของเครื่องบันทึกบางแบบ

2.7 เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลข

เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลข (digital instruments) จะแสดงค่าที่วัดได้ออกมาในรูปตัวเลข

โดยการใช้เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลขนี้ ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าจะถูกขจัดออกไปด้วยการแสดงค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลขโดยตรงและบังจุดทศนิยมได้โดยอัตโนมัติเพื่อทำให้การวัดสะดวกยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีก เป็นต้นว่าจะให้สัญญาณตัวเลข (digital signals) เพื่อนำไปพิมพ์ออกมาหรือนำไปบันทึกลงบนแถบเจาะรู (perforated tape) หรือบนแถบแม่เหล็ก (magnetic tape) ได้โดยตรง หรือยิ่งไปกว่านั้นเราอาจนำสัญญาณนี้ไปต่อเข้าโดยตรงกับอุปกรณ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลให้ดีขึ้นได้อีกเป็นอันมาก

ปรากฏการณ์ที่เราต้องการวัดส่วนมากนั้นจะเปลี่ยนแปลงค่าต่อเนื่องกันไปตลอดเวลา (อยู่ในรูปแบบแอนาล็อก) ถ้าจะใช้เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลขกับปรากฏการณ์เหล่านี้แล้ว เราจะต้องแปลงปรากฏการณ์เหล่านั้นให้เป็นปริมาณรูปตัวเลข ณ ที่ใดที่หนึ่งเสียก่อน อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อการนี้เรียกว่าเครื่องแปลงปริมาณแอนาล็อก-ดิจิทัล (A-D converter) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับเครื่องวัดชนิดตัวเลข ในตอนต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงโวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข (digital voltmeter) และเครื่องวัดความถี่แบบนับ (counter type frequency meter)

โวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข

โวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข (digital voltmeter) ได้มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาและได้มีการผลิตขึ้นหลายแบบ

นอกจากจะใช้วัดแค่ค่าแรงดันตามปกติแล้ว โวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลขบางแบบยังอาจใช้วัดค่าความต้านทาน (เรียกว่า โวลท์-โอห์มมิเตอร์) ได้อีกด้วย หรือใช้วัดทั้งแรงดันกระแสตรงและแรงดันกระแสสลับ (เรียกว่ามัลติมิเตอร์)

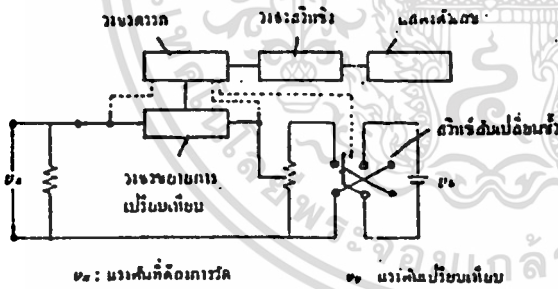


วิธีการที่ใช้กันจะแบ่งออกได้อย่างหยาย ๆ ดังนี้ คือวิธีเปรียบเทียบ (comparison method) วิธีอินทิเกรต (integrating method) และวิธีอินทิเกรตตั้ง โปเทนชิโอมิเตอร์ (integrating potentiometer method)

2.7.1 วิธีเปรียบเทียบ

โวลท์มิเตอร์ที่ใช้วิธีนี้ประกอบด้วยแรงดันมาตรฐานที่อยู่ในรูปของรหัสและสามารถเปลี่ยนค่าได้ (variable coded standard voltage) ซึ่งแรงดันที่ต้องการวัดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันมาตรฐานนี้โดยวงจรขยายเปรียบเทียบ

ในรูป 2.21 แรงดันที่ได้จากการเปรียบเทียบโดยวงจรขยายเปรียบเทียบจะควบคุมวงจรเปิด-ปิด (switching circuit) โดยผ่านทางวงจรลอจิก ทำให้สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันมาตรฐานได้อย่างอัตโนมัติจนกระทั่งมันมีค่าเท่ากับแรงดันที่ต้องการวัด และแล้วแรงดันมาตรฐานที่อยู่ในรูปของรหัสนั้นก็จะถูกแสดงออกมาเป็นตัวเลข



รูป 2.21 หลักการของโวลท์มิเตอร์ชนิดตัวเลข (โดยใช้วิธีเปรียบเทียบ)

วิธีนี้มีคุณลักษณะที่เด่นบางประการคือ การเปรียบเทียบกันโดยตรงระหว่างแรงดันที่ต้องการวัดกับแรงดันมาตรฐานจะทำให้ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรงและละเอียดอย่างแม่นยำ จะสามารถวัดอัตราส่วนระหว่างแรงดันที่ดูแป้นเข้ามาจากภายนอกต่อแรงดันที่ต้องการวัดได้โดยละเอียดและแม่นยำ และสัญญาณทางออกซึ่งอยู่ในรูปของรหัสก็สามารถนำไปป้อนเข้าเครื่องบันทึก

อัคคีโนมิตี เพื่อให้บันทึกค่าของแรงดันที่วัดได้

2.7.2 วิธีอินทีเกรท

ในวิธีนี้แรงดันทางเข้าจะถูกอินทีเกรทโดยวงจรอินทีเกรทที่มีคุณลักษณะเชิงเส้นตรงดีมากแล้วผลที่ได้จะถูกแปลงให้เป็นพัลส์ เสียก่อนแล้วจึงทำการวัด

เนื่องจากการอินทีเกรทแรงดันทางเข้าต้องคำนึงไปในช่วงเวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งเป็นปฏิภาคกับช่วงเวลาครูปของคลื่นกระแสสลับของไฟฟ้ากำลังที่ใช้ สัญญาณรบกวน (noise) จากความถี่ไฟฟ้ากำลังซึ่งผสมอยู่ในแรงดันทางเข้าจะถูกเฉลี่ยเป็นศูนย์ และสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ก็จะถูกเฉลี่ยเช่นเดียวกัน ทำให้ผลอิทธิพลของสัญญาณรบกวนซึ่งมีต่อการขั้วของเครื่องวัดลงไปได้

รูป 2.22 แสดงถึงข้อได้เปรียบเสียเปรียบของวิธีนี้ต่อวิธีเปรียบเทียบในแง่ของสัญญาณรบกวน

วิธีอินทีเกรทอาจแบ่งย่อยลงไปได้อีกเป็นสามแบบดังนี้

นายสตีเฟน สมิธ เข้ามา



ค่าแต่ละขณะที่วัดโดยวิธีเปรียบเทียบ พื้นที่ในหนึ่งคาบของคลื่นไฟฟ้าที่วัดโดยวิธีอินทีเกรท

รูป 2.22 ความแตกต่างระหว่าง วิธีเปรียบเทียบ กับวิธีอินทีเกรท

1) แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่

แบบนี้เป็นผลรวมของเครื่องแปลงแรงดันเป็นความถี่แบบนับ เมื่อข้อ
แรงดันที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้วรับสัญญาณทางเข้า เครื่องแปลงแรงดันเป็น

ความถี่จะสร้างขบวนของพัลส์ขึ้นมาโดยมีจำนวนของพัลส์เป็นปฏิภาคกับแรง
ดันทางเข้า แล้วเครื่องวัดความถี่แบบนับก็จะทำการนับจำนวนพัลส์ในช่วง
เวลาที่แน่นอนอันหนึ่ง เนื่องจากต้องมีการใช้วงจรอินทิเกรทในเครื่องแปลง
วิธีนี้จึงมีข้อดีของอินทิเกรทอยู่ด้วย

2) แบบสโลปคู่ (Dual slope type)

ในแบบนี้แรงดันทางเข้าในรูปของสัญญาณแอนาล็อกจะถูกแปลงให้เป็น
ช่วงความยาวของเวลา วงจรอินทิเกรทได้ถูกนำมาใช้ในเครื่องแปลง นั่นคือ
แรงดันที่ต้องการวัดจะถูกลดค่าลงหรือถูกขยายขึ้นเพื่อให้ได้ระดับที่เหมาะสม
คือ V_1 ซึ่งจะถูกอินทิเกรทด้วยวงจรอินทิเกรทเตอร์ภายในช่วงเวลา
ที่แน่นอน
คือ t_2 ต่อจากนั้น แรงดันอ้างอิง V_2 ซึ่งมีช่วงตรงกันข้ามกับ V_1 จะถูก
อินทิเกรท ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากวงจรอินทิเกรทเตอร์ ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์อยู่เมื่อ
ตอนเริ่มแรกจะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งเมื่อ V_1 ถูกอินทิเกรท แล้วจะลกลดลง
ไปเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งเมื่อ V_2 ถูกอินทิเกรท ถ้าให้ช่วงเวลาที่นับจากตอนที่
 V_2 ถูกป้อนเข้าสู่วงจร จนถึงตอนที่สัญญาณทางออกจากวงจรอินทิเกรทเตอร์
ลกลดถึงศูนย์ มีค่าเป็น t_3 แล้ว เราจะได้ $V_1/V_2 = t_1/t_2$ ดังนั้น
โดยการวัดค่า t_2 ให้แม่นยำและให้ V_2 กับ t_1 มีค่าคงที่เราจะหาค่า V_1
ซึ่งเป็นแรงดันที่ต้องการวัดได้

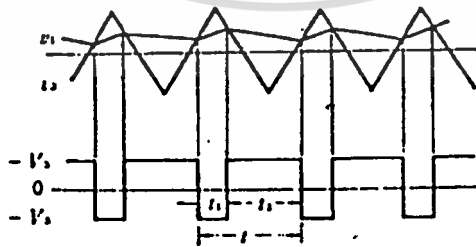
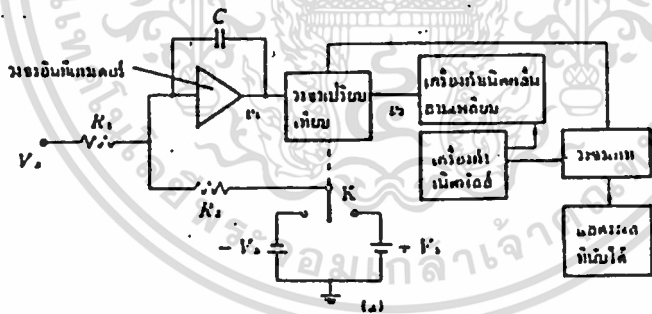
3) แบบการมอดูเลททางความกว้างของพัลส์ หรือแบบฟีดแบ็ค (Pulse width modulating type or feed back type)

ในแบบนี้ แรงดันทางเข้าจะถูกใช้เป็นตัวเปลี่ยนความกว้างของพัลส์อย่าง
เที่ยงตรงและผลต่างระหว่างความกว้างของพัลส์ด้านที่เป็นบวกกับความกว้าง
ของพัลส์ด้านที่เป็นลบจะถูกคำนวณออกมา รูป 2.23 แสดงถึงหลักการดัง:
กล่าวในรูปนี้แรงดัน V_1 ที่ออกจากวงจรอินทิเกรทเตอร์จะมีความเอียง

(slope) ของแรงดันที่ต้องการวัด V_x และของแรงดันอ้างอิง $+V_s$ หรือ $-V_s$ ปรากฏอยู่ด้วย ในอีกด้านหนึ่งแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม v_2 จะเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ โดยมีช่วงเวลาครบรูปเท่ากับของคลื่นความถี่กระแสรวมของไฟฟ้กำลังที่ใช้และเมื่อ v_2 เท่ากับ v_1 สวิตช์ K จะถูกสลับกลับไปอีกทางหนึ่งโดยวงจรเปรียบเทียบ ทำให้ช่วงเวลาที่สวิตช์ K สับอยู่ทาง $-V_s$ เป็น t_1 และช่วงเวลาที่สวิตช์ K สับอยู่ทาง $+V_s$ เป็น t_2 แล้ว เราจะได้

$$(V_x/V_s)(R_2/R_1) = (t_1 - t_2)/(t_1 + t_2)$$

เนื่องจากเราสามารถเลือกค่า $(t_1 + t_2)$ ให้เท่ากับช่วงเวลาครบรูปของคลื่นกระแสรวมของไฟฟ้กำลังที่ใช้ได้ ดังนั้นเราจึงสามารถหาค่า V_x ได้โดยการวัดผลต่างของช่วงกว้างของพัลส์คือ $(t_1 - t_2)$



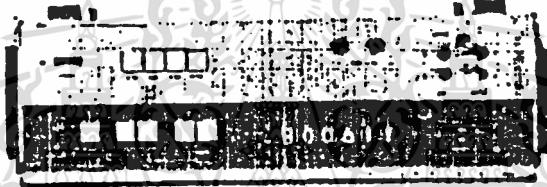
(๒)

รูป 2.23 หลักการของระบบการนับแบบ pulse-width modulation

2.7.3 วิธีอินที่เกรทติ้งโปเตนซีโอมิเตอร์

วิธีนี้เป็นผลรวมของวิธีเปรียบเทียบวิธีอินที่เกรทติ้ง นั่นคือ ความเที่ยงตรงของอินที่เกรทติ้งจะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มโปเตนซีโอมิเตอร์เข้ามา ยกตัวอย่างเช่นกรณีที่เราแสดงค่าตัวเลขหกหลักค่าหนึ่ง ตัวเลขสี่หลักแรกจะได้จากเครื่องแปลงแรงดันให้เป็นความถี่และปริมาณแอนาล็อกอย่างเที่ยงตรง แล้วถูกป้อนกลับไปยังทางเข้าของวงจร ผลต่างระหว่างสัญญาณทางเข้าและปริมาณแอนาล็อกจะถูกวัดโดยวิธีเปรียบเทียบเทียบและแสดงออกมาเป็นตัวเลขสองหลักสุดท้าย

รูป 2.24 แสดงถึงรูปลักษณะของโวลท์มิเตอร์ ชนิดซีเอ็นตัวเลข



รูป 2.24 โวลท์มิเตอร์ชนิดตัวเลข (มีความถูกต้อง 0.005%)
เครื่องมือนี้เป็นมัลติมิเตอร์ที่ใช้วัดได้ทั้งความต้านทาน
แรงดันกระแสสลับและแรงดันกระแสตรง

เครื่องวัดความถี่แบบนับ

เครื่องวัดความถี่แบบนับหรือเครื่องนับความถี่ (counter type frequency meter or frequency counter) อาศัยเทคนิคของวงจรตัวเลข มันสามารถขึงค่าความถี่ออกมาเป็นตัวเลขได้โดยตรง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความถี่ชนิดเซทเทอโรคายน์แล้ว เครื่องวัดแบบนี้ใช้ได้ง่ายกว่า และสามารถทำการวัดได้เที่ยงตรงและละเอียดกว่าอีกด้วย ปัจจุบันนี้มันจึงกำลังเข้าแทนที่เครื่องวัดความถี่แบบเซทเทอโรคายน์

คลื่นรูปไซน์ที่ต้องการวัดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปพัลส์แล้วจึงวัดความถี่ของพัลส์เหล่านั้นด้วยเครื่องนับ ในการนี้เครื่องนับจะนับจำนวนพัลส์ในช่วงเวลาที่กำหนดแน่นอนช่วงหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของสัญญาณที่ได้ออกมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบที่ใช้ผลึก (crystal) จะถูกหารแบ่งออกให้เป็นพัลส์ที่มีช่วงเวลาครบรูปเท่ากับ 1 วินาทีพอดี เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของ วงจรเกท (gating circuit) เพื่อที่จะให้นับจำนวนพัลส์ที่เข้ามาในเวลา 1 วินาที เครื่องนับ จะแสดงค่าของความถี่ออกมาให้อ่านได้โดยตรง

สำหรับความถี่ต่ำ ๆ จะใช้วิธีนี้ไม่ได้ ดังนั้น จึงต้องแปลงความถี่นั้นให้สูงขึ้นโดยผ่าน วงจรทวีความถี่ (frequency multiplier)



บทที่ 3

เขาคิดค่าพลังงานไฟฟ้ากันอย่างไร

มาพิจารณาว่าการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คิดว่าใช้พลังงานไฟฟ้า กับผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไร

3.1 ประเภทต่าง ๆ ของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า

การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แบ่งประเภทของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า ออกเป็น 6 ประเภท คือ

- 3.1.1 ประเภทบ้านอยู่อาศัยคือผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 5 ยูนิต (Unit) ขึ้นไปจนถึงหมื่น ยูนิตก็ได้ รายละเอียดดังตารางที่ 3.1 ถ้ายิ่งใช้พลังงานไฟฟ้ามากสำหรับ ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทนี้ค่าพลังงานไฟฟ้ายิ่งจะสูงขึ้นมาก
- 3.1.2 ประเภทธุรกิจขนาดเล็ก คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์ โรงงานขนาดเล็ก ฯลฯ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าไม่มากนัก มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าใน 15 นาที สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ (15 minute Maximum Kilowatt Demand) ในประเภทนี้การไฟฟ้าจะคิดเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นยูนิตเท่านั้น แต่ไม่คิดค่ากิโลวัตต์คี่มานด์
- 3.1.3 ประเภทธุรกิจขนาดใหญ่ คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้กิโลวัตต์คี่มานด์เกินกว่า 30 กิโลวัตต์ต่อเดือน การไฟฟ้า จะคิด กิโลวัตต์คี่มานด์มิเตอร์ อีก 1 ตัว คอยบันทึกวัดอัตราค่าคี่มานด์ตามที่การไฟฟ้า กำหนด ก่อนจะทำการติดตั้ง กิโลวัตต์-เฮา์มิเตอร์ให้ (ดูตาราง 3.1).
- 3.1.4 ประเภทอุตสาหกรรมขนาดเล็ก คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมโดย เฉพาะ มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าใน 15 นาทีสูงสุด อยู่ระหว่าง 30 -499 กิโลวัตต์ (15 minute Maximum Kilowatt Demand) ตั้งแต่ ประเภท 3.1.4 เป็นต้นไปต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ด้วย

3.1.5 ประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้กิโลวัตต์คี่มานัก ตั้งแต่ 500 กิโลวัตต์ขึ้นไป

3.1.6 ประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในระยะเวลา OFF-PEAK คือ โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงกว่า 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป การไฟฟ้าตั้งประเภทลูกค้าขึ้นขึ้นเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในเวลา ON-PEAK (ระยะเวลาที่ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดระหว่าง 18.30-20.30 น.) ค่าไฟฟ้าประเภทนี้จะถูกลงดังตารางที่ 1

ในตารางที่ 3.1 เป็นอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อใช้อ้างอิง ถ้าเป็นอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 3.1.1 จะเหมือนกันหรือประเภทบ้านอยู่อาศัย เหมือนกับการไฟฟ้านครหลวง แต่สำหรับประเภทธุรกิจขนาดเล็กขึ้นไป อัตราค่าไฟฟ้าจะสูงกว่าของการไฟฟ้านครหลวงเล็กน้อย

ตารางที่ 3.1 แสดงการคิดราคาค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง



อัตราค่าไฟฟ้าใหม่

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

หน่วยหน่วย

กำหนดการไฟฟ้าใหม่โดยคณะกรรมการหรือมีมติที่ใด ๆ ภายใต้นโยบายที่สอดคล้องกับมติของ คณะกรรมการกำกับดูแลกิจการพลังงาน โดยคำนึงถึงความจำเป็นของประชาชนเป็นหลัก

ตารางแนบด้วย

ค่าหน่วยหน่วยไฟฟ้า	: ๒ หน่วย (มิเตอร์ตั้งใหม่) แยกหน่วยย่อยเป็นวัน	๕.๐๐ บาท
1๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ ๑-1๐)	หน่วยละ	0.70 บาท
1๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ 1๑-2๐)	หน่วยละ	0.๘0 บาท
1๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ 2๑-3๐)	หน่วยละ	1.17 บาท
๑๕ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ 3๑-100)	หน่วยละ	1.5๓ บาท
๒๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ 101-1๕0)	หน่วยละ	1.๘๘ บาท
๒๕ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ 1๕1-๒๐๐)	หน่วยละ	1.7๕ บาท
10๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ ๒๐1-๓๐๐)	หน่วยละ	2.0๒ บาท
๑๕๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ ๓01-๔๐๐)	หน่วยละ	2.11 บาท
๓๐๐ หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ ๔๐1 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.๔3 บาท
ค่ามิเตอร์ตั้ง	: เดือนละ ๕.๐๐ บาท	

ประเภทที่ 2 ธุรกิจขนาดเล็ก

หน่วยหน่วย

กำหนดการไฟฟ้าใหม่โดยคณะกรรมการหรือมีมติที่ใด ๆ เพื่อประกอบธุรกิจ ที่มีขนาดพื้นที่อยู่อาศัย สูงสุดไม่เกิน ๒๐๐ ตารางเมตร หรือมีพื้นที่อยู่อาศัยเกิน ๒๐๐ ตารางเมตร แต่มีพื้นที่อยู่อาศัยเกิน ๑๕๐ ตารางเมตร โดยคิดค่าหน่วยไฟฟ้าใหม่ให้มีความเหมาะสม

ตารางแนบด้วย

ค่าหน่วยหน่วยไฟฟ้า	: ๑๐ หน่วย (มิเตอร์ตั้งใหม่) แยกหน่วยย่อยเป็นวัน	๑๑.1๕ บาท
๒๐๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ ๑1-๒๐0)	หน่วยละ	1.77 บาท
๒๐๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ ๒01-๓๐๐)	หน่วยละ	1.๘๐ บาท
๒๐๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ ๓๐1-1,๐๐0)	หน่วยละ	2.21 บาท
๒,๐๐๐ หน่วยต่อปี (หน่วยที่ 1,๐๐1-2,๐๐0)	หน่วยละ	2.๔3 บาท
๓,๐๐๐ หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ ๒,๐๐1 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.๕๐ บาท
ค่ามิเตอร์ตั้ง	: เดือนละ ๑๑.1๕ บาท	

หมายเหตุ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 นี้ หากมีความจำเป็นต้องมีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มเติม 1๕ บาทที่จุดติดตั้ง ๓๐ มิเตอร์ขึ้นไป จะรวมอยู่ในประเภทที่ 2 ประเภทที่ ๑ ประเภทที่ ๒ ประเภทที่ ๓ หรือประเภทที่ ๔ แล้วแต่กรณีและจะดำเนินการตามประเภทที่ 2 นี้ ตั้งแต่ความถี่การคิดไฟฟ้าใหม่แล้วแต่กรณี

ประเภทที่ 3 ธุรกิจขนาดใหญ่

หน่วยหน่วย

กำหนดการไฟฟ้าใหม่โดยคณะกรรมการหรือมีมติที่ใด ๆ เพื่อประกอบธุรกิจ ที่มีขนาดพื้นที่อยู่อาศัย สูงสุดไม่เกิน ๒๐๐ ตารางเมตร หรือมีพื้นที่อยู่อาศัยเกิน ๒๐๐ ตารางเมตร แต่มีพื้นที่อยู่อาศัยเกิน ๑๕๐ ตารางเมตร โดยคิดค่าหน่วยไฟฟ้าใหม่ให้มีความเหมาะสม

ตารางแนบด้วย

๒.๑ ๒๒๐๐ หน่วยต่อปี (มิเตอร์ตั้งใหม่) ๒๒ มิเตอร์	เดือนละ	๒๒๐.๐๐ บาท
๒.๒ ๒๒๐๐ หน่วยต่อปี (มิเตอร์ตั้งใหม่) ๒๒ มิเตอร์	เดือนละ	๒๒๐.๐๐ บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า โทร. ๑๖๖-๐๐๐๐ หรือ ๑๖๖-๐๐๐๑

2.2 ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 12 กิโลโวลท์ขึ้นไป

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า	: กิโลวัตต์ละ	229.00 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	: หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ	1.23 บาท

กิโลวัตต์ต่อจุด : กิโลวัตต์ต่อจุดและเดือน คือค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดจาก 30 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดภายในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา (สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เกษของกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง 0.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ต้นทุนทรัพย์สิน

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพนเวอร์เฟสคอนโทรล (PFC) ซึ่งมีรอบเดือนโดยผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่รวมเอาค่าไฟเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุด (Maximum 15 minute kilowatt demand) ภายในครัวเรือน 22 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (Maximum 15 minute kilowatt demand) แล้วเฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเลือกเพนเวอร์เฟสคอนโทรลในอัตราค่าเช่า (Kvar) ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เกษของเพนเวอร์ต่อชั่วโมง 0.5 บาทต่อชั่วโมง ตั้งแต่ 0.5 บาทขึ้นไปคิดเป็น 1 บาท

ประเภทที่ 4 ธุรกิจเฉพาะอย่าง

ลักษณะการใช้

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ก่อนสงวนและครัวเรือนไฟฟ้าต่าง ๆ ของโรงงานหรือการก่อสร้างที่ควบคุมมาตรฐานของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่เดียว

อัตรารายเดือน

4.1 ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า	: กิโลวัตต์ละ	229.00 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	: หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ	1.23 บาท

4.2 ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 12 กิโลโวลท์ขึ้นไป

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า	: กิโลวัตต์ละ	216.00 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	: หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ	1.23 บาท

กิโลวัตต์ต่อจุด : กิโลวัตต์ต่อจุดและเดือน คือค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดจาก 30 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา (สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เกษของกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง 0.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ต้นทุนทรัพย์สิน

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพนเวอร์เฟสคอนโทรล (PFC) ซึ่งมีรอบเดือนโดยผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่รวมเอาค่าไฟเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุด (Maximum 15 minute kilowatt demand) ภายในครัวเรือน 22 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (Maximum 15 minute kilowatt demand) แล้วเฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเลือกเพนเวอร์เฟสคอนโทรลในอัตราค่าเช่า (Kvar) ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เกษของเพนเวอร์ต่อชั่วโมง 0.5 บาทต่อชั่วโมง ตั้งแต่ 0.5 บาทขึ้นไปคิดเป็น 1 บาท

ประเภทที่ 5 อุตสาหกรรมและเหมืองแร่ขนาดเล็ก

ลักษณะการใช้

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ก่อนสงวนและครัวเรือนไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อประกอบอุตสาหกรรมขนาดเล็กในโรงงานและเหมืองแร่ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวเนื่อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30-199 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่เดียว

อัตรารายเดือน

ทุกระดับแรงดันไฟฟ้า

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า	: กิโลวัตต์ละ	177.00 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	: หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ	1.23 บาท

ส่วนค่าไฟฟ้า : 30 ต่อ 4 ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า

กิโลวัตต์ต่อจุด : กิโลวัตต์ต่อจุดและเดือน คือค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดจาก 30 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา (สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน)

ประเภทที่ 6 อุตสาหกรรมและเหมืองแร่ขนาดกลาง

ลักษณะการใช้

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ก่อนสงวนและครัวเรือนไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อประกอบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในโรงงานและเหมืองแร่ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวเนื่อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 200-1,999 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่เดียว

3.2 ศัพท์ของการศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้า

- 3.2.1 กิโลวัตต์ (Kilowatt) เป็นหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าว่า มีการสิ้นเปลืองพลังงานมากน้อยเพียงใด
- 3.2.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt-Hour) หรือ Unit เป็นหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์ใน 1 ชั่วโมง ซึ่งค่าไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปจะเรียกเก็บตามค่าจำนวนยูนิตที่ใช้ไปทั้งหมดนี้เอง
- 3.2.3 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด (Maximum 15 minute Kilowatt Demand) หรือเรียกว่าค่า "คี่มานด์" เนื่องจากการไฟฟ้า ๑ ไม่ต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าพร้อม ๆ กัน แต่ต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าของโหลดในเวลาต่าง ๆ กัน จึงจำเป็นต้องเรียกเก็บค่าไฟฟ้าแพงขึ้นสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้โหลดพร้อม ๆ กัน วิธีเรียกเก็บคือ คัดคี่มานด์มิเตอร์มาวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าทุก ๆ 15 นาที ถ้าช่วง 15 นาทีใดใน 1 เดือนนั้น มีค่ากิโลวัตต์สูงสุด คี่มานด์มิเตอร์จะค้างอยู่ตรงนี้ แม้ว่าเหตุการณ์แบบนี้จะเกิดขึ้นเพียง 15 นาที ในแต่ละเดือนเท่านั้น ดังนั้นผู้ใช้พลังงานที่การไฟฟ้าคัดคี่มานด์มิเตอร์หากไม่ระวังการปิดเปิดโหลด ก็จะทำให้เสียเปรียบมากในจุดนี้
- 3.2.4 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยแบบรีแอกทีฟใน 15 นาทีที่สูงสุด (Maximum 15 minute Kilovar Demand) มักเรียกว่าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor, $\cos\theta$) มีค่านี้เกิดขึ้นเพราะโหลดเป็นอินดักทีฟ เช่น มอเตอร์, หม้อแปลง ฯลฯ จึงทำให้ค่า Power Factor ของระบบต่ำกว่า 1 ซึ่งเรียกว่า lagging power factor โดยทั่วไปการไฟฟ้า ๑ ต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้ายกขาระดับ power factor ของระบบไว้ไม่ต่ำกว่า .85 ยิ่งค่า power factor ต่ำแสดงว่าโหลดเป็นรีแอกทีฟมากขึ้น ซึ่งทำให้การไฟฟ้าต้องชดเชยส่วนนี้ จึงมีอัตราการเก็บค่าไฟฟ้าจากระบบที่มีค่า power factor ต่ำกว่ากำหนด โดยที่การไฟฟ้า ๑ จะถือว่าค่า power factor ในส่วน 63 % แรกของค่าคี่มานด์นั้นให้ใช้ฟรี ส่วนที่เกินจะนำมาคิดเป็น

กิโลวาร์ (Kilovar) ตามที่การไฟฟ้า ฯ กำหนด (ตามตารางที่ 2.1) แต่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่เรียกเก็บค่า power factor นี้ แต่จะยังกับให้โรงงานที่ใช้ไฟฟ้า power factor ของระบบไม่ต่ำกว่า 0.85

3.3 จะลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างไร

วิธีการลดค่าไฟฟ้ามีหลายวิธีแต่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องเป็นผู้พิจารณาเองว่าวิธีใดจะเป็นวิธีที่คุ้มต่อการลงทุนมากที่สุด ดังนั้นจะเห็นว่าการไฟฟ้า ฯ เรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้ 3 ทางคือ จากหน่วยที่ใช้ในแต่ละเดือน จากค่าที่มากกว่าที่ต้องการในแต่ละเดือนและจากค่า power factor ที่ต่ำกว่ากำหนด ดังนั้นวิธีการลดค่าไฟฟ้าจึงต้องทำการลดและควบคุมตาม 3 วิธีดังกล่าว

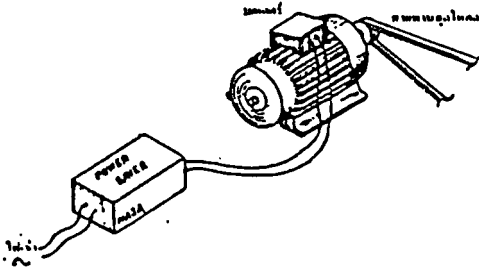
3.3.1 การลด ค่าไฟฟ้าจากหน่วยที่ใช้ การลดค่าไฟฟ้าจากหน่วยที่ใช้มีวิธีต่าง ๆ กันคือ

- (1) จัดโปรแกรมของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้เกิดการใช้งานที่ประหยัดที่สุด ปิดไฟเมื่อไม่จำเป็น วิธีการนี้เป็นการลดโดยตรง
- (2) ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการจ่ายพลังงานให้ไหลลด เพราะจากวิธีการข้อ (1) จะเห็นว่าโรงงานส่วนใหญ่แล้วลดความถี่ไม่ได้ จะกระทบกระเทือนการทำงาน ดังนั้นวิธีการที่ (2) นี้ อาจทำเป็นลักษณะ Power Saver เช่นขณะมอเตอร์ไม่ได้จุดไหลลดอุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่จำกัดกระแสไว้ แต่พอมีไหลลดมันจะรับรู้และจ่ายกระแสเต็มอัตรา วิธีการนี้ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายว่าคุ้มทุนหรือไม่ โดยคิดจาก

$$\text{เวลาคุ้มทุน (Break even period)} = \frac{\text{ราคาของชุดควบคุม}}{\text{จำนวนหน่วยประหยัด/ปี} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า/หน่วย}}$$

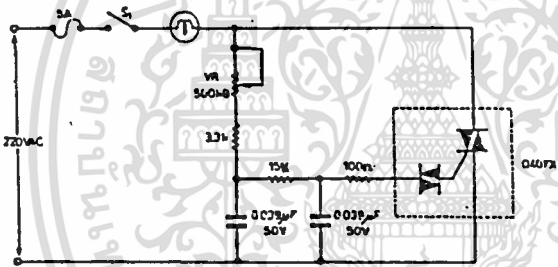
โดยทั่วไปจุดคุ้มทุน 3-5 ปี เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

ลักษณะการใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการต่ออุปกรณ์ควบคุมโวลต์เพื่อลดค่าไฟฟ้า

(3) ถ้าโวลต์เป็นแสงสว่างเราอาจควบคุมแสงสว่างให้เหมาะสมโดยใช้
เครื่องหรี่ไฟก็เป็นการประหยัดได้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการควบคุมโวลต์ที่เป็นแสงสว่าง

(4) ถ้าโวลต์เป็นเครื่องปรับอากาศหรือระบบปรับอากาศ ควรมีการควบคุมภายในห้องแต่ละห้อง เพื่อเป็นการประหยัดอาจโดยใช้ Room

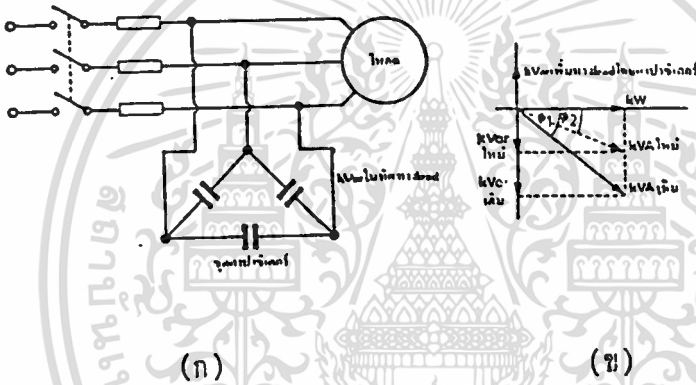
Thermostat

(5) ใช้พลังงานอื่นทดแทน เช่น ติดแผงรับแสงอาทิตย์ใช้พลังงานน้ำ,
พลังงานลม เป็นต้น

3.3.2 การลดค่าคี่มานด์ สามารถทำได้โดยการจัดการแบ่งการปิดเปิดโวลต์ให้
การกระจายมาก ๆ โดยไม่เปิดพร้อม ๆ กันจะเป็นการลดค่าคี่มานด์ และ
พยายามลดโวลต์ในช่วง ON-PEAK สามารถนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาควบคุม

คุมการปิดเปิดเครื่อง เช่น Load Shedding Controller หรืออาจใช้ระบบ microcomputer Control เป็นต้น

3.3.3 การลดค่า power factor เนื่องจากการไฟฟ้า ฯ คิดค่า power factor เป็นกิโลวาร์ที่มาก ตามที่การไฟฟ้ากำหนดเป็นของส่วนที่เกินจาก 63 % ซึ่งถ้าโรงงานใดมีค่า power factor ต่ำมาก ๆ อาจทำให้มีค่ากิโลวัตต์ที่มากสูง ถ้าต้องการให้ power factor มากขึ้น (มุม ϕ ลดลง) เราต้องติด power capacitor เข้าไปช่วยเพื่อลดค่ากิโลวาร์ลง ดังรูปที่ 3.3

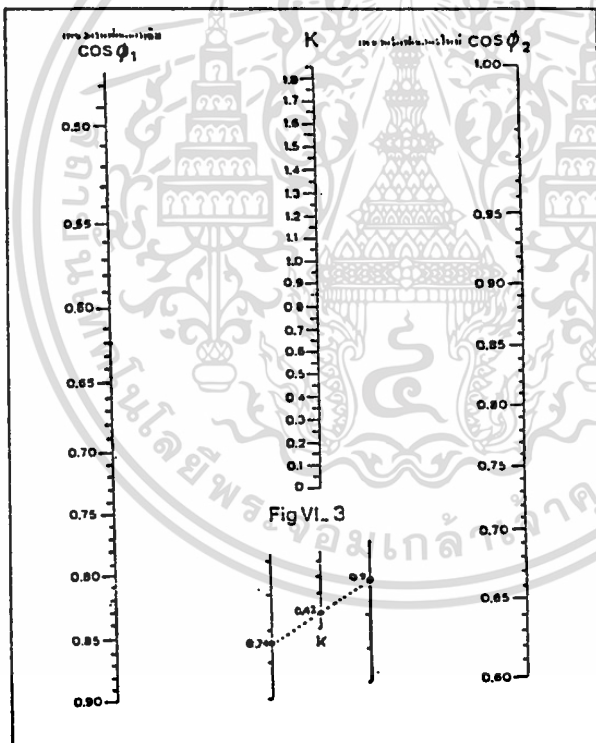


รูปที่ 3.3 (ก) แสดงการต่อคาปาซิเตอร์เข้าไปลดค่า KVAR
(ข) แสดงเวกเตอร์ของ KW, KVAR, KVA

จากรูปที่ 3.3 (ก) จะเห็นว่ามุม ϕ_2 ซึ่งแก้ค่า power factor จะเล็กกว่ามุม ϕ_1 เมื่อ power factor เพิ่มขึ้นจะมีผลให้กระแสที่ไหลในเมนลดลงด้วย ข้อควรระวังในการเดินคือ การเกิด Over Compensation หรือการแก้ power factor มากจนเกินไปซึ่งจะเป็นการทำให้คาปาซิเตอร์ที่ซุดแซ่ชานกับโหลดตลอดเวลา อาจจะทำให้อายุการใช้งานต่ำกว่าปกติ และถ้าแก้ power factor มากจนเป็น leading power factor จะทำให้กระแสในวงจรเกิดขึ้นอีก เราป้องกันการเกิด OVER Compensation โดยใช้อัตโนมัติเพาเวอร์แฟกเตอร์เรกูเรเตอร์ (Automatic power factor Requirator) ถ้าสังเกตดูก็จะพบว่าการใช้คาปาซิเตอร์เข้าไปไม่

เพียงแต่เพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อย่างเฉียว แต่ยังมีผลทำให้ค่า KVA ลดลงด้วย นั่นหมายความว่าแรงดันตกที่ กระแสที่ไหลในวงจรเมมจะลดลงด้วย ซึ่งบางครั้งเรานำผลการลดกระแสนี้มาใช้กับระบบที่มีกระแสมากเกินไป เพื่อให้กระแสลดลงมาอยู่ในช่วงใช้งานที่ปลอดภัย และลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟพร้อมทั้งลดการเกิดแรงดันตก (Voltage drop) ลงไปด้วย

กราฟที่ช่วยในการหาค่าคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงในรูปที่ 3.4 โดยจากเส้นเชื่อมโยงระหว่างค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เดิม และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ต้องการ ตัดแกน K ที่ค่าใด ๆ เอาค่า K ไปคูณกับค่า KW ในระบบ จะได้ค่า $KVAR$ ของคาปาซิเตอร์ตามต้องการ



รูปที่ 3.4 กราฟช่วยในการหาค่าคาปาซิเตอร์

ตัวอย่าง ระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่มีโหลด 200 KW ที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.74 อยากจะแก้ไขให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 0.9 เมื่อลากเส้นเชื่อมตัดแกน K ที่ค่า K 0.42 เราเอาค่านี้ไปคูณ 200 KW ได้ 84 KVAR ค่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าที่ต้องการ

การศึกษาค่าต้นทุนในการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

ตัวอย่าง ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด (Kw demand) เท่ากับ 500 Kw และแต่ละเดือนนี้ก็มีค่า KVAR demand เท่ากับ 800 KVAR เราจะมาลองคิดกันดูว่า ถ้าติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้าไปจะคุ้มแค่ไหน ค่า KVAR ที่การไฟฟ้า ไม่คิดราคาคือ 63 % ของกิโลวัตต์คิดมานด์สำหรับกรณีนี้เท่ากับ $500 \times 0.63 = 315$ KVAR ดังนั้นจะติดตั้งคาปาซิเตอร์คือ $800 - 315 = 485$ KVAR (ใช้ 50 KVAR จำนวน 10 ชุด

ดูตามตาราง 1 ค่า KVAR ต้องเสีย KVAR ละ 15 บาท เพราะฉะนั้นจึงต้องเสียค่า KVAR = $(800 - 315) \times 15 = 5.775$ บาท ต่อเดือนหรือปีละ 69,300 บาท

สมมติว่าราคาราคาปาซิเตอร์พร้อมอุปกรณ์และค่าติดตั้ง 50 KVAR ชุดละ 25,000 บาท ต้องลงทุนรวม 250,000 บาท

$$\text{ดังนั้นจะคืนทุนในเวลา} = \frac{250,000}{69,300} = 3 \text{ ปีกว่า ๆ}$$

3.4 การวัดปริมาณทางไฟฟ้า

3.4.1 กำลังไฟฟ้า ขนาดของงานที่ไฟฟ้ากระทำได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลามีหน่วยเป็นวัตต์คือกำลังไฟฟ้า

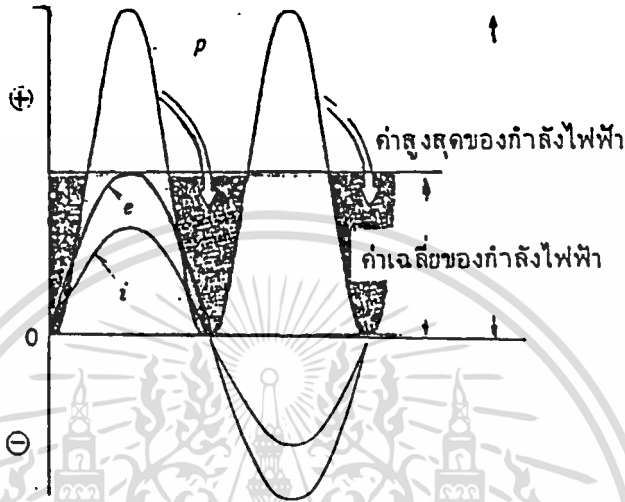
$$\therefore \text{กำลังไฟฟ้า (W)} = \frac{\text{ปริมาณกำลังไฟฟ้า (Wh)}}{\text{เวลา (h)}}$$

กำลังไฟฟ้ากรณีไหลตกเป็นความต้านทานอย่างเดียวกันการคำนวณเป็นเช่นเดียวกับกรณีไฟตรง

$$\text{กำลังไฟฟ้า (W)} = \text{แรงดันไฟฟ้า (V)} \times \text{กระแสไฟฟ้า (A)} \text{ รูปคลื่น}$$

ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของวงจรมีเฟสเดียวกัน ดังรูปที่ 3.5
กำหนดให้ค่าชั่วขณะของแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าเป็น e i

กราฟของกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 กราฟของกำลังไฟฟ้า

และ p ตามลำดับ จะคำนวณกำลังไฟฟ้า p ได้จากสูตร

$$p = e \times i$$

ดังนั้นค่าในขณะใดขณะหนึ่งของกำลังไฟฟ้า p เปลี่ยนแปลงตามเวลาในลักษณะเช่นเดียวกับ e และ i ในระหว่าง 0 องศา-180 องศา e และ i มีค่าเป็นบวก กำลังไฟฟ้ามี่ค่าเป็นบวกด้วย และในระหว่าง 180 องศา-360 องศา e และ i มีค่าเป็นลบ แต่กำลังไฟฟ้าก็ยังคงมีค่าเป็นบวกอยู่ เพราะ

$$p = (-e) \times (-i) = e \times i$$

ดังนั้นเมื่อคำนวณค่าในขณะใดขณะหนึ่งของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะได้ผลดังกราฟของรูปที่ 3.5

ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้า (p_m) จะเป็นคังสูตร

ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้า (p_m) = ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า (E_m) \times ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้า (i_m)

จากเส้นกราฟของกำลังไฟฟ้าซึ่งมีค่าสูงสุด p_m เราจะพบว่าใน 1 รอบมียอดสูงสุดสองครั้ง ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า p_o มีค่าเป็น $1/2$ ของค่าสูงสุด p_m ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า p_o

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือกำลังไฟฟ้าของไฟสลับนั่นเอง

ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าจึงเป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังไฟฟ้า } p_o &= \frac{1}{2} \times \text{ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้า } p_m \\
 &= \frac{\text{ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า } E_m \times \text{ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้า } i_m}{2}
 \end{aligned}$$

หรือ กำลังไฟฟ้า $P_o = \frac{\text{ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า } E_m}{\sqrt{2}} \times \frac{\text{ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้า } i_m}{\sqrt{2}} \dots (3.1)$

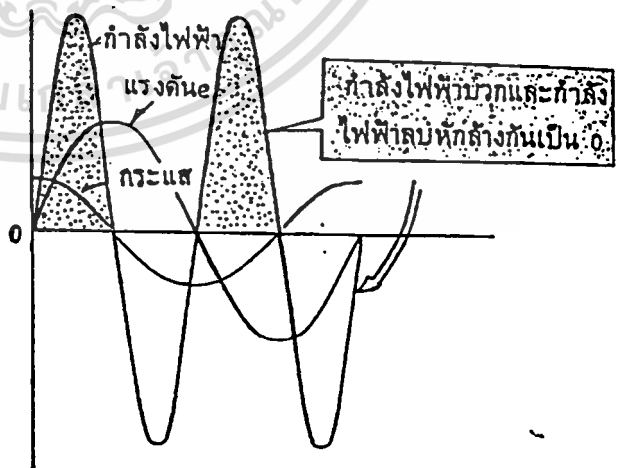
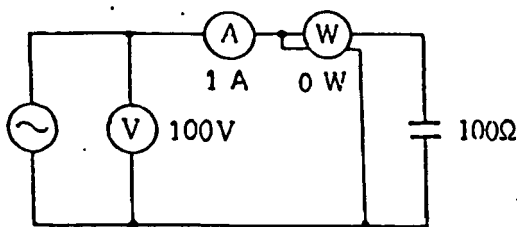
ถ้า $E_m/\sqrt{2}$ และ $i_m/\sqrt{2}$ ในสูตร (3.1) คือค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ดังนั้นกำลังไฟสลับจึงสามารถแสดงได้ดังสูตร

กำลังไฟฟ้า = ค่าใช้งานจริงของแรงดันไฟฟ้า × ค่าประสิทธิผลของกระแสไฟฟ้า... (3.2)

ถ้าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีเฟสเดียวกัน การคำนวณกำลังไฟฟ้าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีของไฟตรง ด้วยเหตุนี้การคำนวณกำลังไฟฟ้าจะสะดวกมาก ถ้าแสดงค่าไฟสลับในรูปของค่าประสิทธิผล

3.4.2 กำลังไฟฟ้าที่ไม่มีผล (Reactive Power)

- แรงดันไฟฟ้า = 100 V
- กระแสไฟฟ้า = 1 A
- กำลังไฟฟ้า = 0 W



รูปที่ 3.6 คอนแดนเซอร์กับกำลังไฟฟ้า รูปที่ 3.6 กราฟของกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เราจะพบว่าถึงแม้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านคอนแดนเซอร์แต่มันก็ไม่กินกำลังไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าแต่อย่างไร เหตุผลเป็นดังต่อไปนี้

เมื่อใส่แรงดันไฟสลับแก่คอนเดนเซอร์ รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเป็นรูปที่ 3.6 กระแสไฟฟ้าที่เฟสนำหน้าแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา ดังนั้น เมื่อคำนวณค่าในขณะหนึ่งของกำลังไฟฟ้าคัง เช่นที่ เคยกล่าวมาแล้ว ในระหว่างมุม 0 องศา ถึง 90 องศา ทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก ค่าในขณะใดขณะหนึ่งกำลังไฟฟ้าจึงเป็นบวกด้วย แต่ในระหว่างมุม 90 องศา ถึง 180 องศา e เป็น + และ i เป็น - ฉะนั้นกำลังไฟฟ้าจึงมีค่าเป็นลบ

$$p = ex(-i) = - eixi$$

ในระหว่าง 180 องศา ถึง 270 องศา ทั้ง e และ i มีค่าเป็น - ดังนั้น 0 จึงเป็นบวก และในระหว่าง 270 องศา ถึง 360 องศา e เป็น + และ i เป็น - p จึงเป็น - เมื่อเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า p จึงได้ค่า + และ - สลับกันดังรูปที่ 3.6 เนื่องจากกำลังไฟฟ้าลบและกำลังไฟฟ้าบวกมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจึงเป็นศูนย์ เพราะหักล้างกันเอง ด้วยเหตุนี้ ถึงแม้จะมีกระแสไหลในคอนเดนเซอร์ กำลังไฟฟ้าก็เป็นศูนย์ เมื่อใส่แรงดันไฟสลับแก่คอนเดนเซอร์ จะเกิดอັคและจ่ายไฟขึ้นสลับกัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าบวกของรูปที่ 3.6 จึงหมายถึงการอັคไฟ และกำลังไฟฟ้าลบของรูปหมายถึงการจ่ายไฟนั่นเอง กำลังไฟฟ้าจึงถูกจ่ายจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับคอนเดนเซอร์ (อັคไฟ) และจากคอนเดนเซอร์กลับสู่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (จ่ายไฟ) คอนเดนเซอร์จึงไม่กินไฟ กำลังไฟฟ้าจึงเป็น 0 กำลังไฟฟ้าที่วิ่งไปวิ่งมาระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและคอนเดนเซอร์จึงไม่ได้ถูกใช้งานไปกับภาระ กำลังไฟฟ้าเช่นนี้ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่ไม่มีผล (Reactive Power) มีหน่วยเป็นวาร์ (ใช้สัญลักษณ์ VAR)

เมื่อใส่แรงดันไฟสลับให้แก่ตัวเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน 90 องศาด้วย กำลังไฟฟ้าจึงเป็นศูนย์เช่นเดียวกับกรณีของคอนเดนเซอร์ด้วย

3.4.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) และเพาเวอร์แฟกเตอร์

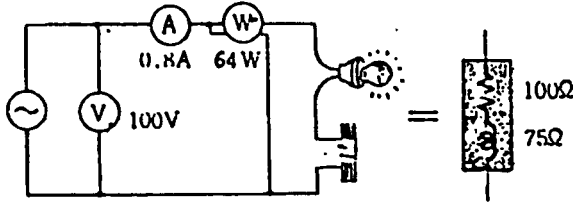
เมื่อค่ออนุกรมระหว่างหลอดไฟขนาด 100 V 100 W กับคาร์แอคแทนซ์ชนิดเหนี่ยวนำ 75Ω แล้วใส่แรงดันไฟสลับดังรูปที่ 3.7 วัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าของแต่ละส่วน ได้ผลดังนี้

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} = 100 \text{ V}$$

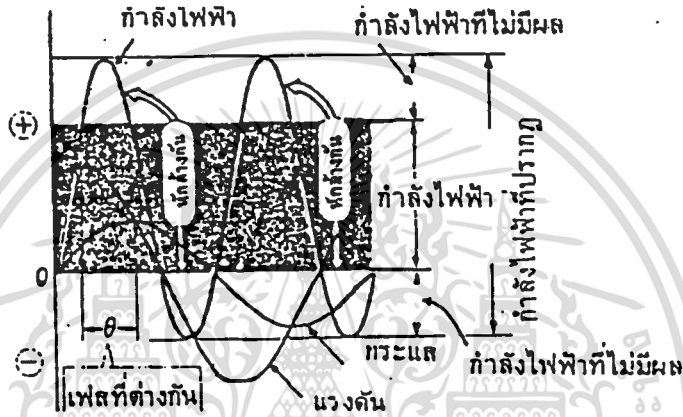
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้า = 0.8 A

กำลังไฟฟ้า = 64 W



รูปที่ 3.7 วงจร R-L กับกำลังไฟสลับ



รูปที่ 3.8 กราฟของกำลังไฟฟ้า

จากการวัด พบว่ากำลังไฟฟ้านั้นไม่สามารถคำนวณได้จาก แรงดันไฟฟ้า × กระแสไฟฟ้า

เมื่อใส่แรงดันไฟสลับแก่วงจรอนุกรมระหว่างตัวต้านทาน และคาร์แอคแตนซ์ชนิด หนึ่งยวนำรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเป็นดังรูปที่ 3.7 เมื่อนำมาคำนวณหาค่าใน ขณะหนึ่งของกำลังไฟฟ้าแล้วเขียนเป็นกราฟ จะได้ผลดังรูปที่ 3.8 พบว่ากำลังไฟฟ้าบวกมีขนาด โตกว่ากำลังไฟฟ้านลบ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจึงไม่เป็นศูนย์ ดังกรณีของคอนเดนเซอร์ และกำลังไฟฟ้า นี้ก็ไม่ไ้กลายเป็นความร้อน หรือแสงสว่างของหลอดไฟทั้งหมด กล่าวคือ กำลังไฟฟ้านี้ประกอบ ด้วยส่วนที่ใช้งานจริงในหลอดไฟ และส่วนที่วิ่งไปวิ่งมาระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากับขดลวดโดย มิได้ทำงานแต่อย่างใดปนกันอยู่ กำลังไฟฟ้าส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อะไร ได้แก่ ส่วนของกำลัง ไฟฟ้าบวกและลบหักล้างกันพอดี กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง จึงได้แก่ ส่วนที่เหลือจากการหักล้าง ซึ่งกันและกัน กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานรวมกับกำลังไฟฟ้าบวกและลบที่หักล้างกันนั้น เรียกว่า กำลัง ไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) ซึ่งเขียนได้ดังสูตร

กำลังไฟฟ้าปรากฏ = แรงดันไฟฟ้า × กระแสไฟฟ้า (3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในกิจการที่มิใช่เพื่อการค้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีหน่วยเป็น โวลต์แอมแปร์ (ใช้สัญลักษณ์ VA)

เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏกับกำลังไฟฟ้าและกับกำลังไฟฟ้าที่ไม่มีผล จะได้ทั้งสามเหลี่ยมมุมฉากในรูปที่ 3.9 ซึ่งกำหนดได้จากเฟสที่ต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของวงจร มุม θ ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏและกำลังไฟฟ้าจึงเท่ากับ เฟสที่ต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงสามารถเขียนแสดงในรูปฟังก์ชันของมุมได้ดังต่อไปนี้

$$\text{กำลังไฟฟ้า} = \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ} \times \cos \theta$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ไม่มีผล} = \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ} \times \sin \theta \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ} = (\text{กำลังไฟฟ้า})^2 + (\text{กำลังไฟฟ้าที่ไม่มีผล})^2$$

$\cos \theta$ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ เรียกว่า เพาเวอร์แฟกเตอร์ ดังนั้น

$$\text{กำลังไฟฟ้า (W)} = \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)} \times \text{เพาเวอร์แฟกเตอร์} \quad \dots(3.5)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า (W)} = \text{แรงดัน (V)} \times \text{กระแส (A)} \times \text{เพาเวอร์แฟกเตอร์} \quad \dots(3.6)$$

ดังนั้นเมื่อ $\cos \theta = 0.8$ จึงหมายถึงเพาเวอร์แฟกเตอร์ 80 %



เฟสต่างกันระหว่างแรงดันและกระแส

รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ไม่มีผล

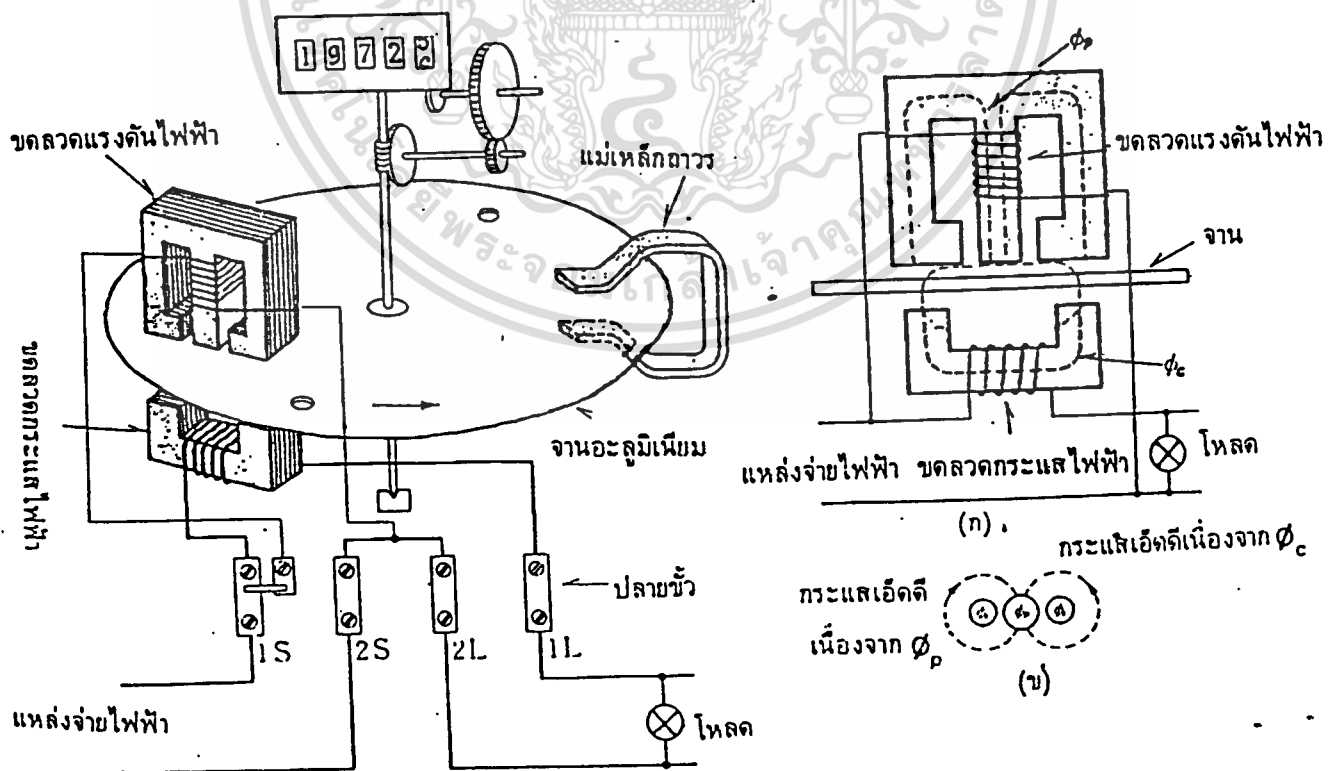
3.4.4 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (WATT - HOUR METTER)

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าเป็นมิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการจำหน่ายไฟฟ้ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์ที่ติดตามบ้านทั่ว ๆ ไป เป็นมิเตอร์ชนิดนี้ทั้งนั้น โครงสร้างของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า แสดงไว้ในรูปที่ 3.10 จานกลม ๆ ในรูปจะหมุนอยู่ตลอดเวลาที่ใช้ไฟฟ้า และหมุนด้วยความเร็วที่แปรผันตามกำลังไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสามารถจะวัดได้โดยนับจำนวนรอบที่หมุนของจานนั่นเอง กระแสไหลลงจะถูกส่งเข้าไปในชดลวด กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะคร่อมชดลวดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_c และ ϕ_p ซึ่งจะแปรผันตามกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตามลำดับ เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองตัดจานอะลูมิเนียม จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสเอ็ดดี้ (eddy current) ไหลบนจาน ดังนั้นจึงเกิดแรงขึ้นระหว่างกระแสเอ็ดดี้ที่เหนี่ยวนำโดย ϕ_c กับเส้นแรง ϕ_p และระหว่างกระแสเอ็ดดี้ที่เหนี่ยวนำโดย ϕ_c กับเส้น ϕ_p จากแรงเหล่านี้จะทำให้จานหมุนไปได้ ซึ่งแรงหมุนนี้จะแปรผันกับผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง ซึ่งหมายความว่าแปรผันกับกำลังไฟฟ้านั่นเอง นอกจากนั้นเมื่อจานหมุนไปจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสเอ็ดดี้บนจานอีก กระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรง ซึ่งแรงนี้จะต้านแรงหมุนของจาน ซึ่งทำให้จานหมุนไปด้วยความเร็วสม่ำเสมอ (คือเมื่อแรงหมุนเท่ากับแรงต้าน) ซึ่งจะแปรผันตามกำลังไฟฟ้า ที่แกนของจานจะมีเฟืองซึ่งจะต่อไปที่เครื่องนับ ดังนั้นเมื่อจานหมุนไปเครื่องนับก็จะนับจำนวนรอบที่จานหมุนได้ ซึ่งจำนวนรอบนั้นก็คือ พลังงานไฟฟ้านั่นเอง



รูปที่ 3.10 โครงสร้างของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า รูปที่ 3.10 หลักการทำงานของมิเตอร์วัดกำลังไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

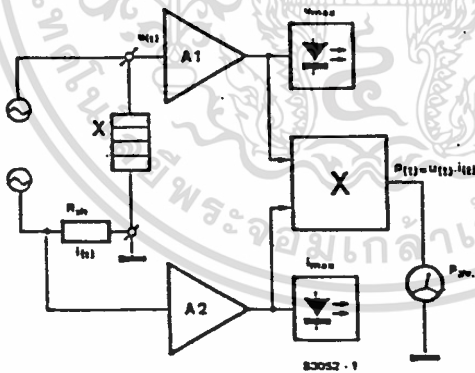
หลักการทํางานการสร้างและการนำไปใช้งานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

4.1 บทนำ

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าประกอบด้วย ส่วนแสดงผลเป็นวัตต์และกิโลวัตต์/ชั่วโมง การทํางานของเครื่องจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นส่วนของวัตต์มิเตอร์ ส่วนของวัตต์มิเตอร์นี้จะสร้างสัญญาณ VCO นำไปเป็น input ของกิโลวัตต์มิเตอร์ ส่วนที่สองเป็นส่วนของกิโลวัตต์/ชั่วโมง โดยการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม

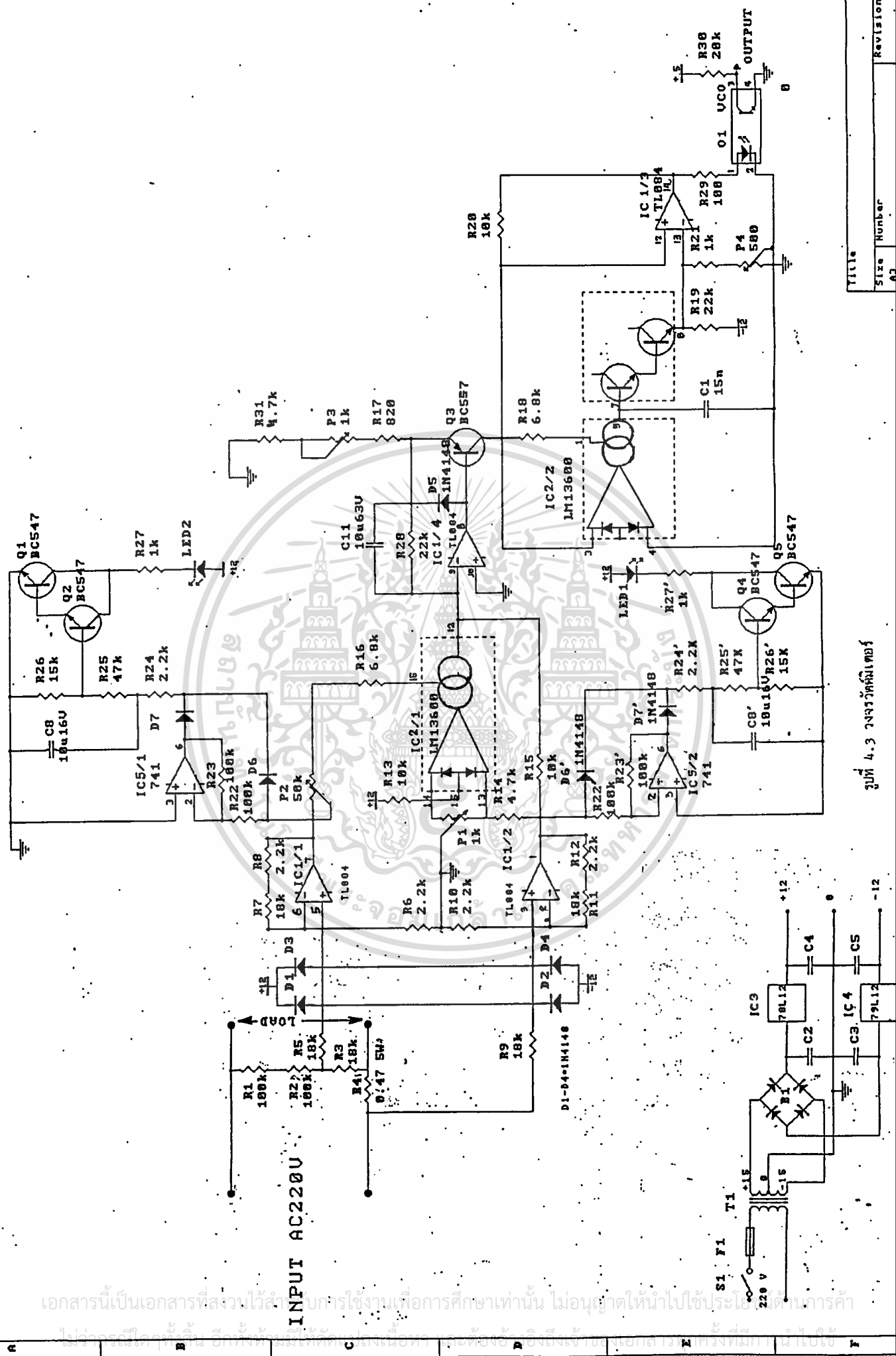
4.2 พื้นฐานการทํางานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

หลักการทํางานก็คือนำกระแสที่วัดได้โดย Current Sensor คูณกับแรงดันจาก Voltage Sensor โดยตัวคูณ four quadrant multiplier โดยมี LED เป็นตัวแสดงผลค่าแรงดันสูงสุดและกระแสสูงสุด สัญญาณที่ได้รับจากการคูณ คือ ค่าวัตต์ ตามรูปที่ 4.1



รูป 4.1 บล็อกโตะแกรม แสดงวงจรเบื้องต้นการทํางานของวัตต์มิเตอร์

จากวงจรของวัตต์มิเตอร์จะมีสัญญาณ output ที่เป็นสัญญาณ VCO ป้อนเป็น input สำหรับกิโลวัตต์มิเตอร์ ความถี่ VCO เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังงานที่วัดโดยวัตต์มิเตอร์



รูปที่ 4.3 วงจรตัวตรวจจับ

Title	Size	Number	Revision
	A3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นสังกัด

หลักการทํางาน

วงจรสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. วงจรวัดคํามิตอร์
2. วงจรกําเนิดความถี่ (VCO)

วงจรวัดคํามิตอร์

เมื่อใส่โวลต์เข้าไปและป้อนไฟสลับ 220 โวลต์เข้าเครื่อง ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R3 เท่ากับ..... แล้วส่งผ่าน R5 มาเข้าขาอินพุตไม่กลับเฟสของ IC1/1 ซึ่งทํางานเป็น..... แรงดันเอาต์พุตจาก TL084 จะถูกส่งผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ P2 เพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสป้อนให้กับขาไบแอสของ IC2/1 ตัวต้านทาน R4 มีไว้จะกระแสที่ไหลผ่านโวลต์เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R4 แล้วส่งผ่าน R9 เข้าขาอินพุตไม่กลับเฟสของ IC1/2 ซึ่งทํางานเป็น..... สัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งมาเข้าอินพุตของ IC2/1

กระแสที่ออกจาก IC2/1 ซึ่งเป็นผลคูณของสัญญาณอินพุต จะถูกป้อนผ่าน IC1/4 ซึ่งเป็นตัวขยาย แล้วสัญญาณก็ผ่านไดโอดมาตกคร่อม R17 ไปทําให้ Q3 ทํางานในส่วนภาคที่ทํางานเป็นตัววัดคํามิตอร์ ก็มีเพียงเท่านั้นถ้าลองเอาแอมป์มิเตอร์ ไปแทน R4.7 k จะเห็นได้ว่ามิเตอร์ทํางาน

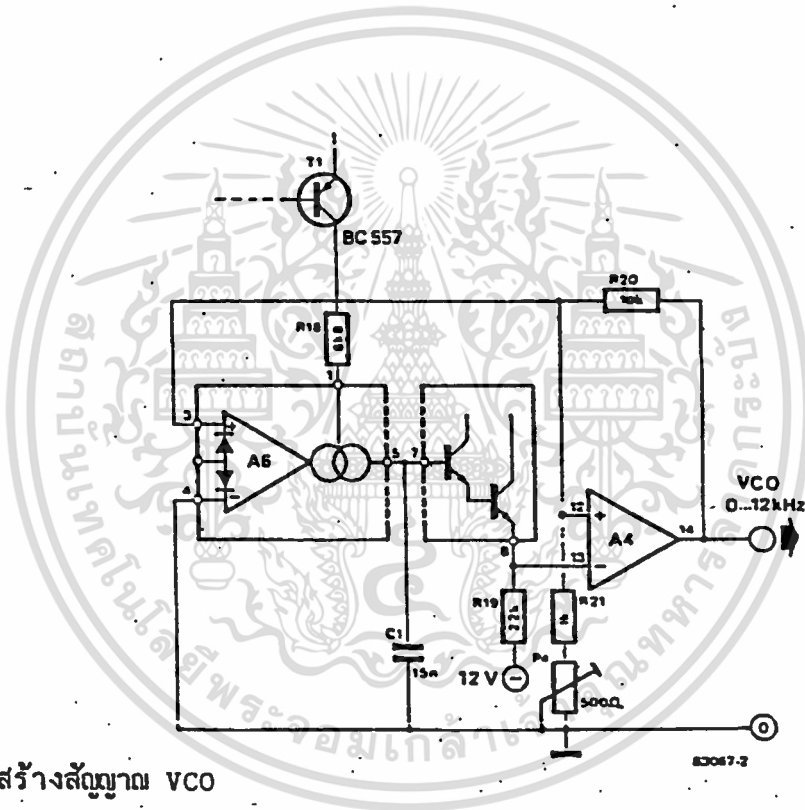
วงจรกําเนิดความถี่ VCO

ประกอบไปด้วย IC2/2 และ IC1/3 มีหลักการทํางานคร่าวๆคือสมมุติว่าสภาวะเดิมของเอาต์พุต IC1/3 เป็น +12 โวลต์ ดังนั้นจึงมีแรงดันที่อินพุตขา 3 ของ IC3/2 เป็น 1.5 โวลต์ เนื่องจากวงจรแบ่งแรงดัน R20, R2 และ P4 ทำให้เกิดกระแสที่ไหลออกจากขา 5 ของ IC2/2 มาเก็บที่ตัวเก็บประจุ ทําให้มีแรงดันเกิดขึ้นที่ขา 7 ของ IC 2/2 ซึ่งคํออยู่กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ภายในตัว IC ทรานซิสเตอร์จึงนำกระแส ทําให้เกิดแรงดันขึ้นที่ขา 8 ของ IC2/2 ซึ่งคํออยู่กับขา 13 ของ IC1/3 โดสแรงดันนี้จะสูงขึ้นได้ช้าเร็วเท่าไร ขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ

เมื่อแรงดันที่ขา 13 ของ IC1/3 มีค่าสูงกว่าขา 12 สภาวะที่เอาต์พุตของ IC1/3 จะเปลี่ยนจาก +12 โวลต์ เป็น -12 โวลต์ ทันทีและทําให้ที่ขา 3 ของ IC2/2 และขา 14 ของ IC1/3 มีแรงดันเปลี่ยนจาก +1.5 โวลต์ เป็น -10.5 โวลต์ ทําให้เกิดกระแสไหลเข้าขา 5 ของ IC3/2 ซึ่งกระแสที่ไหลเข้านี้ ได้

มาจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุออกมา ทําให้แรงดันตกคร่อมตัวมัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า คํอๆ ลดลงทรานซิสเตอร์ภายในตัว IC3/2 จึงนำกระแสได้น้อยลง แรงดันที่ขา 8 จึงคํอๆ ลดลงด้วย เมื่อกฎเกณฑ์ทางสน อักษรห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุจะคายประจุจนกระทั่งแรงดันที่ขา 13 ของ IC1/3 ตกลงต่ำกว่า -10.5 โวลต์ ที่จุดนี้ จะทำให้เอาต์พุตของ IC1/3 เปลี่ยนจาก -12 โวลต์ กลับไปเป็น +12 โวลต์ทันที ตัวเก็บประจุก็จะเริ่มต้นเก็บประจุอีกครั้ง เป็นเช่นนี้เรื่อยไปทำให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมจากเอาต์พุต IC1/3 เพื่อป้อนเข้าไปยังชุดไมโครโปรเซสเซอร์ ความถี่ที่ได้จากวงจร VCO มีค่าประมาณ 0-12 kHz ขึ้นอยู่กับการปรับ P4 เนื่องจากเราเอาความถี่ VCO ไปเป็นอินพุตเข้าไมโครโปรเซสเซอร์ จะต้องผ่านตัวออสซิลเลเตอร์ เพื่อแยกกราวด์ออกจากกัน เพราะว่าในวงจรภาคแรกของเรา มีไฟเอซีเข้ามาเกี่ยวข้องกับทำให้อาจจะเกิดปัญหาไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ดังนั้นเราจะต้องทำไฟเลี้ยงวงจรไมโครโปรเซสเซอร์แยกต่างหากออกจากชุดแรก

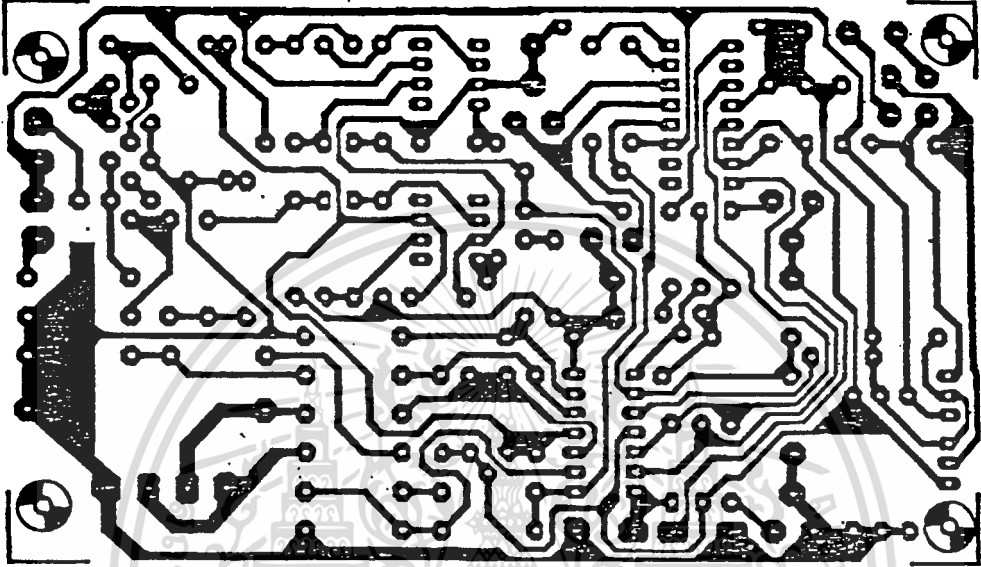


รูป 4.4 วงจรสร้างสัญญาณ VCO

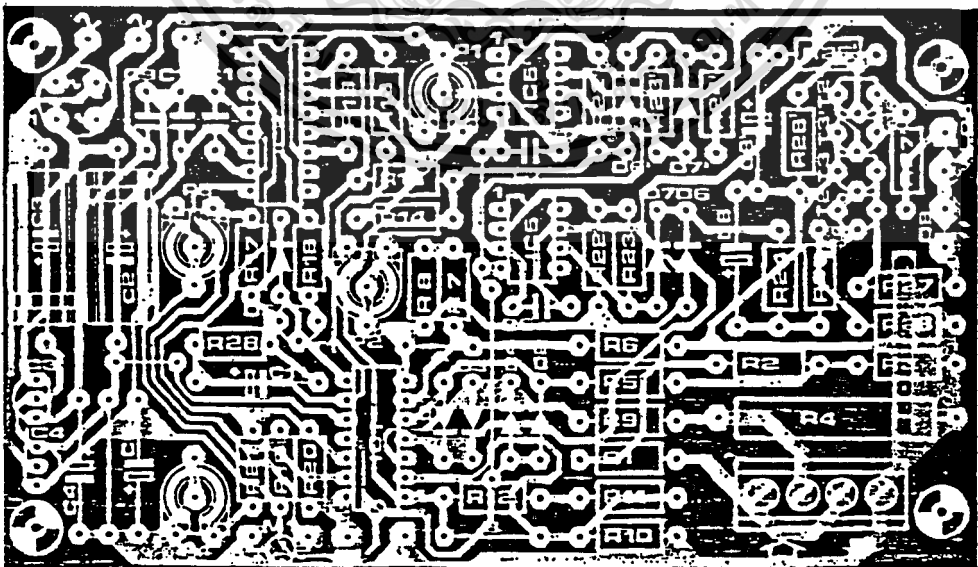
4.4 ลายพิมพ์และการวางอุปกรณ์

4.4.1 วัตต์มิเตอร์

5



รูป 4.6 ลายพิมพ์แผ่นวงจร วัตต์มิเตอร์และภาคสัญญาณ VCO



รูป 4.7 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรวัตต์มิเตอร์ และสัญญาณ VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โครงสร้างและการปรับแต่ง

การติดตั้งอุปกรณ์ลงในกล่อง ควรใช้วัสดุที่เป็นฉนวนที่ดีและกันน้ำ สายเมนที่จะใช้จะต้องเป็นสายไฟฟ้าที่สามารถรับแรงดัน 220 V AC

การปรับแต่งวัตต์มิเตอร์มีวิธีในการปรับแต่งดังนี้ คือ

- นำออสซิลโลสโคปหรืออาจจะเป็นมิเตอร์ที่วัดความถี่ได้ในโครงงานนี้ได้ใช้เครื่องมือทั้งสองอย่างเพราะจะใช้ออสซิลโลสโคปดูรูปคลื่นสัญญาณและใช้มิเตอร์วัดความถี่ค่าความถี่เพราะค่าความถี่แต่ละวัตต์จะแตกต่างกันไม่ค่อยมากจับความถี่ที่ OUTPUT VCO
 - ใส่โพลประมาณ 100 วัตต์เข้าไป เช่น หลอดไฟ(หลอดไส้ดีที่สุด)
 - จ่ายไฟเข้าวงจร หลอดไฟจะสว่าง ปรับ P2 P4 และ P1 ให้สัมพันธ์กันจนเกิดความถี่ขึ้นเห็นได้จากออสซิลโลสโคป
 - ถ้ายังไม่มีค่าความถี่ให้ปรับ P4 P2 กับ P1 ให้สัมพันธ์กันให้ได้
 - ถ้าเห็นความถี่ปรากฏขึ้นแล้วนำส่วนที่สองซึ่งเป็นส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์มาต่อเข้ากับสัญญาณ VCO
 - ที่จอ LCD จะแสดงผลตัวเลขขึ้นมา
 - ทดสอบไปประมาณ 1 ชั่วโมง ค่าพลังงานที่ใช้จะไปปรากฏขึ้นในทางทฤษฎีถ้าโพล 100 วัตต์ ภายใน 1 ชั่วโมงจะใช้พลังงานไปเท่ากับ
(จำนวนวัตต์*จำนวนชั่วโมง)/1000
- เพราะฉะนั้นจะได้เท่ากับ 0.1 ยูนิต
8. ถ้าปรากฏว่าจำนวนยูนิตแสดงผลเกิน 0.1 ยูนิตใน 1 ชั่วโมง ให้ปรับความถี่เพราะแสดงว่าความถี่มากเกินไป ให้ค่อยๆปรับ P2 ให้ความถี่ลดลงมา มีเทคนิคในการปรับยูนิตหน่อยว่าถ้าผลของยูนิตออกมาเท่าไรแล้วลองเทียบบัญญัติไตรยางค์จะได้ความถี่แท้จริงที่ต้องการได้เช่น

ถ้าครั้งแรกอ่านค่า100วัตต์เกินได้ 0.2 ยูนิต ได้ความถี่ 30 Hz

ถ้าต้องการ 0.1 ยูนิต จะได้ความถี่ = (30*0.1)*0.2

= 15 Hz

ดังนั้นเราก็ปรับไปที่ความถี่ 15 Hz แล้วทดสอบไป 1 ชม.ว่าค่าออกมาตรงหรือเปล่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ของชุดวัดคีมิตเตอร์

Resistor (all 1/8 W except R4)

R1, R2, R22, R22', R23, R23,	100 k
R3	3.3 k
R4	0.6/15 W
R5, R7, R9, R11	18 k
R6, R10, R24, R24'	2.2 k
R8, R12	1.8 k
R13, R15, R20	10 k
R14, R31	4.7 k
R16, R18	6.8 k
R17	820
R19	22 k
R21, R27, R27'	1 k
R25, R25'	47 k
R26, R26'	15 k
R28, R28'	22 k
P1, P3	1 k
P2	50 k
P4	500
R29	100
R30	20 k



CAPACITOR

C1	15n
C2, C3	220u/25V
C4, C5, C8, C8'	10u/16V
C6, C7, C9, C10	100n
C11	10u/63V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิศวกรมีหน้าที่ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้