กรณีศึกษาการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส ภายใต้สภาวะโหลดไม่เชิงเส้น

A Case Studying of Power Measurement in Single-phase Nonlinear Load Power System

พลากร พรหมเมศร์ วศ.ม. (Palakorn Prommet, M.Eng)[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส ในสภาวะโหลดไม่เป็นเชิงเส้น โดยพัฒนาการวัดค่ากำลังไฟฟ้าร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากโหลดไม่เชิงเส้นแล้วนำสัญญาณดังกล่าวไปประมวลผลด้วยการ์ดประมวลผลสัญญาณ (DAQ) จากนั้น ทำการคำนวณหาค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าและแสดงผลด้วยเครื่องมือวัดแบบเสมือน LabVIEW ซึ่งเป็นแนวทางในการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าผิดเพี้ยนและค่าองค์ประกอบกำลังของวงจร โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็วในการแยกองค์ประกอบของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานรวมถึงมุมเฟสที่ความถี่มูลฐาน เพื่อใช้ในการคำนวณองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในสภาวะโหลดไม่เชิงเส้น นำผลที่ได้จากการวัด ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน คือ METRIX PX120 ผลการทดสอบพบว่า การวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีผลการวัดมีค่าใกล้เคียง และมีความผิดพลาดในการวัดเฉลี่ยที่ 0.2 %

คำสำคัญ : โหลดไม่เชิงเส้น, เครื่องมือวัดแบบเสมือน

Abstract

This paper presents a case study of power component measurement for single-phase nonlinear load. This is the development of power measurement integrated by voltage and current transducers for nonlinear load, then signals was taken to the signal processing card (DAQ), and then was calculated and was displayed the power component on virtual instrument. This instrument helps to perform measurements of the quantities; active power, apparent power, reactive power, distortion power and power factor. On these virtual instruments, it uses the Fast Fourier Transform (FFT) to separate the voltage current and phase angle component at the fundamental frequency to determine power component in nonlinear load conditions. The results were compared with the METRIX PX120 and it was found that there is an error in the measurement up to 0.2 %.

Keywords : Nonlinear load, Virtual instrument

[1] อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

บทนำ

ในระบบไฟฟ้ากำลัง องค์ประกอบกำลังไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลัง มีความสำคัญในการออกแบบอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า การกำหนดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ การพัฒนาระบบการวัดค่ากำลังไฟฟ้า และการกำหนดอุปกรณ์ชดเชยกำลัง ที่ใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าให้ดีขึ้น (Dalvand & Agelidis, 2010) ปัจจุบันมีการใช้งานโหลดไม่เชิงเส้นเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะมีผลกระทบต่อองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ เช่น ทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดความเสียหาย ทำให้เกิดความผิดพลาดความผิดเพี้ยนของอุปกรณ์เครื่องมือวัด เกิดสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร (Orfanos & Topalis, 2005) ดังนั้น ในการนิยามองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบความผิดเพี้ยนของแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้วย

บทความนี้เสนอการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 1 เฟส โดยใช้เครื่องมือวัดแบบเสมือนสำหรับการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งกำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิก ภายใต้สภาวะโหลดที่ไม่เชิงเส้นรูปแบบต่างๆ โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว แบบไม่ใช้หน้าต่างอัลกอริทึม ทำให้ลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์สัญญาณ จากนั้น นำผลที่ได้จากการวัดองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน คือ METRIX PX120 เพื่อหาค่าความถูกต้องในการวัด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนารูปแบบวิธีการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในรูปแบบที่มีความยืดหยุ่นสูงด้วยโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าภายใต้สภาวะโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การคำนวณค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้า

1.1 กำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐาน

การคำนวณหาค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถใช้สมการคณิตศาสตร์ในการพิจารณาโดยใช้สมการการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วเพื่อหาค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้า (Chen, Chu, Huang, & Fei, 1991) จากสมการที่ 1 และ 2 เป็นการคำนวณค่ากำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของแรงดันและกระแสที่วัดได้

$$V = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} v_k^2} \qquad (1)$$

และ

$$I = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} i_k^2} \qquad (2)$$

เมื่อ V, I คือ ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผล (RMS) ของแรงดันและกระแสไฟฟ้า

N คือ จำนวนจุดการสุ่มตัวอย่าง k = 0, 1.....N-1

ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าปรากฏจะเป็นไป ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$P = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} v_k i_k \quad (3)$$

$$S = V.I \quad (4)$$

เมื่อ v_k และ i_k คือ จำนวนตัวอย่าง ของผลคูณระหว่างค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เวลาใดๆ ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและค่าตัวประกอบกำลัง จะเป็นไปดังสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (5)$$

$$PF = \frac{P}{S} \quad (6)$$

1.2 กำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิก

เพื่อพิจารณาในกรณีที่กระแสไฟฟ้ามีลักษณะรูปคลื่นผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์หรือที่เรียกว่า กระแสฮาร์มอนิกนั้น วิธีการวิเคราะห์เพื่อหาค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่สำคัญและนิยามของค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่มีเพิ่มเติมจากการเกิดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า สามารถกำหนดคุณลักษณะและรายละเอียดได้ ดังต่อไปนี้

ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของกระแสรวม (Total RMS Current, $I_{s,rms}$) คือ ค่ากระแสรวมที่ประกอบด้วย 2 เทอม คือ เทอมของค่ากระแสที่ความถี่มูลฐาน (Fundamental RMS Current, $I_{s,1}$) และเทอมของค่ากระแสที่ความถี่ฮาร์มอนิก (Harmonics RMS Current, $I_{s,2.....n}$) (Filipski, Baghzouz & Cox, 1994) โดยพิจารณา ดังสมการที่ 7

$$I_{s,rms} = \sqrt{I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 \ldots I_{s,n}^2} = \sqrt{I_{s,1}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{s,n}^2} \quad (7)$$

ค่ากระแสผิดเพี้ยน (Distortion Current, I_{dis}) คือ เทอมของกระแสผิดเพี้ยนที่นอกเหนือจากค่าของกระแสที่ค่าความถี่มูลฐาน (วิบูลย์ ชื่นแขก, 2546) จากสมการที่ 7 โดยค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของกระแสผิดเพี้ยนจะมีค่า ดังสมการที่ 8

$$I_{dis} = \sqrt{I_{s,rms}^2 - I_{s,1}^2} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{s,n}^2} \quad (8)$$

ค่าตัวประกอบผิดเพี้ยน (Distortion factor, *DF*)

$$DF = \frac{I_{s,1}}{I_{s,rms}} \quad (9)$$

ค่าความผิดเพี้ยนรวม (Total harmonic distortion, *THD*)

$$THD_i = \frac{I_{dis}}{I_{s,1}} \qquad THD_v = \frac{V_{dis}}{V_{s,1}} \quad (10)$$

ค่าตัวประกอบยอดคลื่น (Crest factor, *CF*)

$$CF = \frac{I_{s,pk}}{I_{s,rms}} \quad (11)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าผิดเพี้ยน (Distortion power, *D*)

$$D = V_{rms} \cdot I_{dis} \quad (12)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าไม่จริง (Fictitious power, *F*)

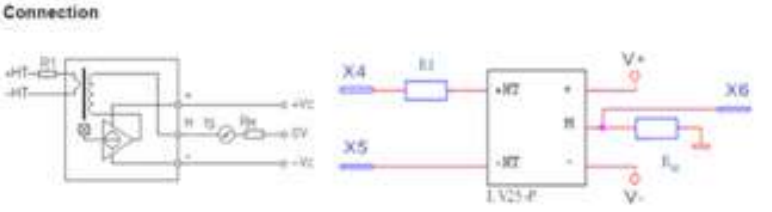
$$F = \sqrt{Q^2 + D^2} = \sqrt{U^2 - P^2} \quad (13)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าไม่เสมือน (Non-reactive power, *N*)

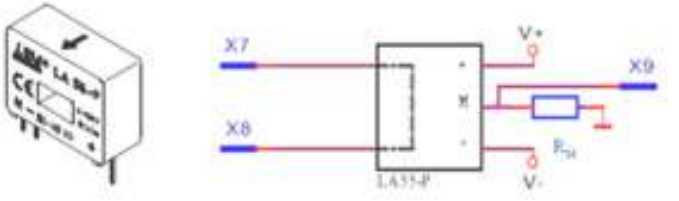
$$N = \sqrt{P^2 + D^2} = \sqrt{U^2 - Q^2} \quad (14)$$

2. การพัฒนาระบบเครื่องมือวัดแบบเสมือน

การพัฒนาเครื่องมือวัดแบบเสมือนด้วยโปรแกรม LabVIEW ภาพรวมของระบบจะใช้การวัดค่าสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าจริงที่ได้จากโหลดไม่เชิงเส้นรูปแบบต่างๆ ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (LV25-P) (ภาพที่ 1 (ก)) และสัญญาณกระแสไฟฟ้า (LA55-P) (ภาพที่ 1 (ข)) โดยทำการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าสัญญาณที่วัดและทดสอบว่าสัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดสามารถนำไปใช้งานได้ จากระบบไฟฟ้า 1 เฟสภายใต้สภาวะโหลดไม่เชิงเส้นที่เป็นสัญญาณอนาล็อก นำเข้าพอร์ทอนาล็อกของการ์ดประมวลผลสัญญาณ A/D (USB 6009) โดยทำการกำหนดค่าอัตราสุ่มที่ 1 KHz ที่ 100 ตัวอย่าง จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยประสิทธิผลของแรงดันและกระแสไฟฟ้า (V_{rms}, I_{rms}) รวมถึงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐาน (V_1, I_1) และมุมต่างเฟสที่ความถี่มูลฐาน (θ_1) โดยใช้รูปแบบการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว ในการแยกองค์ประกอบของสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานรวมถึงมุมต่างเฟส เพื่อนำผลการคำนวณที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรมเครื่องมือวัดแบบเสมือน LabVIEW ที่สร้างขึ้น



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

2.1 ส่วนคำนวณค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้า

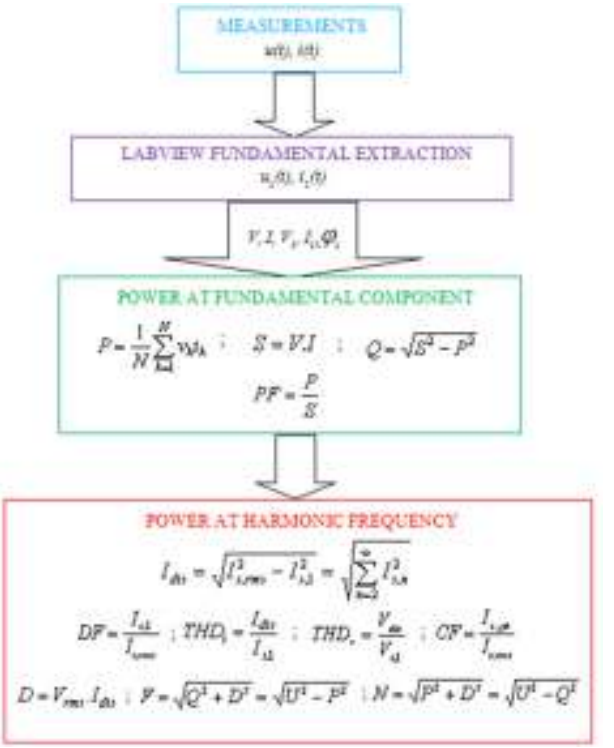
การคำนวณหาค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นส่วนที่ใช้การคำนวณและออกแบบด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยในการเขียนโปรแกรมจะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วน คือ

1) ส่วนการคำนวณค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้สมการในการคำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

2) ส่วนการคำนวณค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ค่าความถี่มูลฐาน โดยใช้วิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็วแบบไม่ใช้หน้าต่างอัลกอริทึม โดยทำการแสดงค่าขนาด (Magnitude RMS) แล้วทำการแปลงข้อมูลเป็นอาร์เรย์ จากนั้น ใช้ฟังก์ชันของอาร์เรย์ Max & Min ในการแสดงค่าสูงสุดของอาร์เรย์ ทั้งสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะได้ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐาน

3) ส่วนมุมต่างเฟสที่ความถี่มูลฐาน โดยใช้วิธีการหาค่ามุมต่างเฟสที่หาได้จากแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐาน ที่ได้จากการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว ซึ่งนำค่ามุมที่ได้ของสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า นำมาแปลงข้อมูลเป็นอาร์เรย์ จากนั้นใช้ฟังก์ชันของอาร์เรย์ Index ในการแสดงค่ามุมต่างเฟสที่สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐาน แล้วนำมาหาค่าผลต่างของมุมเฟส จะได้ค่ามุมต่างเฟสที่ความถี่มูลฐาน

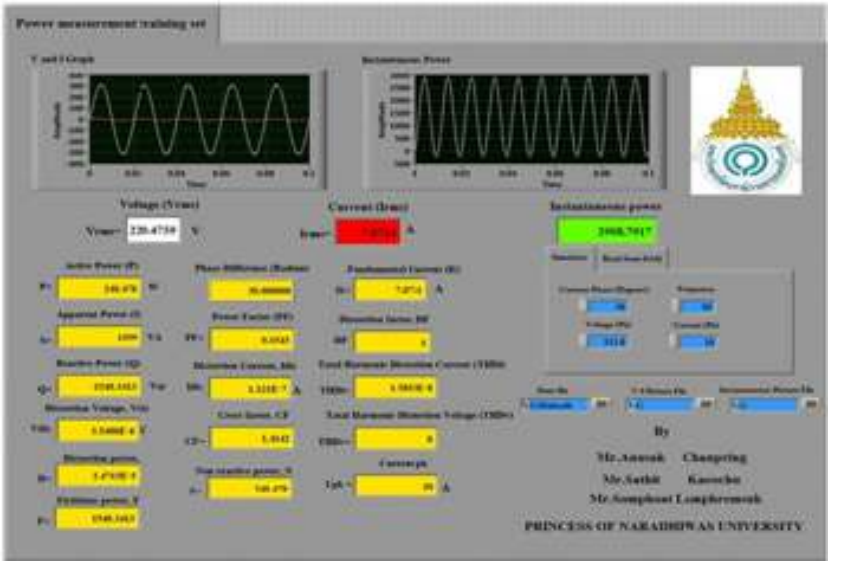
4) ส่วนคำนวณค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าในแต่ละส่วน แสดงดังภาพที่ 2 โดยทำการอธิบายภาพรวมถึงที่มาของค่าพื้นฐานต่างๆ ก่อนที่จะได้มาซึ่งค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้า ทั้งกำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิก



ภาพที่ 2 รูปแบบโดยรวมของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าในส่วนของการคำนวณภายในโปรแกรม LabVIEW

2.2 ส่วนแสดงค่าบนคอมพิวเตอร์

ส่วนแสดงผลการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งกำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิก พิจารณาจากสมการที่ 3 ถึงสมการที่ 14 จะแสดงผลค่าต่างๆ ตามค่าที่กำหนดจากสมการ ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากผลการคำนวณในส่วนของคำสั่งการคำนวณค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW ดังภาพที่ 3



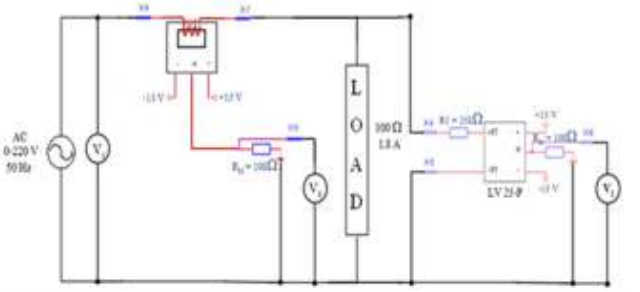
ภาพที่ 3 การวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิก

ผลการทดลอง

การทดลองวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิกมีขั้นตอน ดังนี้

1. การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

เมื่อทำการออกแบบชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า ทำการทดลองโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ระดับแรงดัน 0-220 โวลต์ โดยกำหนดให้โหลดเป็นค่าความต้านทาน 100 โอห์ม 1.8 แอมแปร์ เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้เป็นไปตามค่าที่ออกแบบเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณดังกล่าว ดังภาพที่ 4

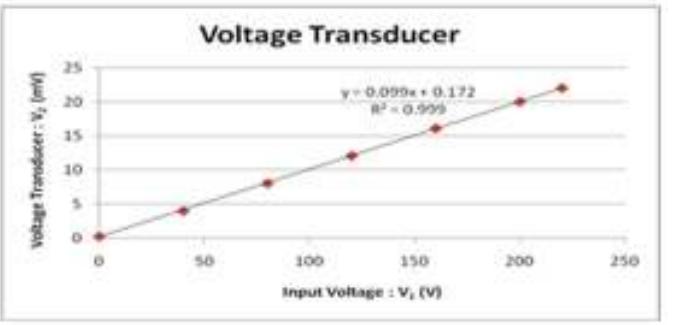


ภาพที่ 4 การวัดและเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

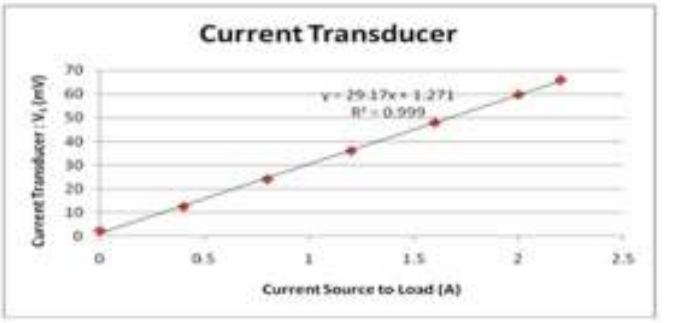
ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณทางด้านจ่ายเข้า 0–220 โวลต์ (V_1) กับแรงดันทางด้านจ่ายออกของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (V_2) และอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้า (V_3) จะมีค่าดังตารางที่ 1 โดยผลจากการวัดแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีลักษณะการทำงานในการวัดค่าสัญญาณเป็นรูปแบบที่เป็นเชิงเส้น ดังภาพที่ 5 และ 6

ตารางที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า (LV25-P, LA55-P) โดยปรับแหล่งจ่ายแรงดันทางด้านเข้า 0-220 โวลต์ ที่โหลดค่าความต้านทาน 100 โอห์ม 1.8 แอมแปร์

แรงดันด้านขาเข้า V_1 (V)	0	40	80	120	160	200	220
แรงดันด้านขาออก V_2 (mV)	2.27	40.9	81.9	122	163	203	223
แรงดันด้านขาออก V_3 (mV)	2.24	12.4	24	36	47.9	59.7	65.9
กระแสคำนวณที่จ่ายให้กับโหลด (A)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.2



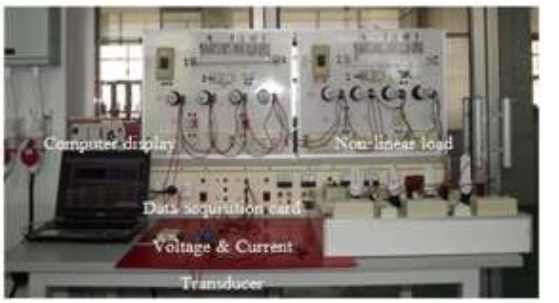
ภาพที่ 5 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า LV25-P ที่แรงดัน 0 - 220โวลต์ เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้า



ภาพที่ 6 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้า LA55-P ที่แรงดัน 0 - 220โวลต์ เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้า

2. การวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับโหลดไม่เชิงเส้นในระบบไฟฟ้า 1 เฟส

นำโปรแกรมเครื่องมือวัดแบบเสมือน LabVIEW ที่ได้ทำการออกแบบ ไปทำการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้ากับโหลดไม่เชิงเส้นที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เตาอบไมโครเวฟ และเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการทดลองวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับโหลดไม่เชิงเส้นในระบบไฟฟ้า 1 เฟส

จากภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างการจำลองวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าภายใต้สภาวะโหลดไม่เชิงเส้น ร่วมกับการ์ดประมวลผลสัญญาณ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า และโปรแกรมเครื่องมือวัดแบบเสมือน LabVIEW ที่ได้สร้างขึ้น โดยกำหนดให้ทำการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าจากโหลดไม่เชิงเส้นในระบบไฟฟ้า 1 เฟส โดยนำผลไปเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้ากับเครื่องมือกำลังไฟฟ้า METRIX PX120 ดังตารางที่ 2 ถึง 5

ตารางที่ 2 วัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

	ปริมาณ	Power Meter (Metrix: PX 120)	LabVIEW Power Measurement	Error
Fundamental	V_{rms} (V)	235.5	237.6	0.88
	I_{rms} (A)	0.7	0.7	0
	P (W)	79	71.7	9.2
	S (VA)	168.2	168.8	0.35
	Q (Var)	158.7	158.9	0.12
	P_F	0.4	0.4	0
Harmonic	V_{DC} (V)	-	10.1	NA
	I_{DC} (A)	-	0	NA
	THD$_I$	-	0	NA
	THDv	-	2	NA
	D	-	2	NA
	DF	-	0.9	NA
	CF	-	1.4	NA
	F	-	166.2	NA
	N	-	77	NA

ตารางที่ 3 วัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 117 วัตต์

	ปริมาณ	Power Meter (Metrix: PX 120)	LabVIEW Power Measurement	% Error
Fundamental	V_{rms} (V)	226.9	227.2	0.13
	I_{rms} (A)	0.9	0.9	0
	P (W)	128.7	127.8	0.69
	S (VA)	218.6	218.7	0.04
	Q (Var)	175.5	173.5	0.11
	P_F	0.5	0.5	0
Harmonic	V_{DC} (V)	-	2.3	NA
	I_{DC} (A)	-	0.7	NA
	THD$_I$	-	1.2	NA
	THDv	-	0	NA
	D	-	166.1	NA
	DF	-	0.6	NA
	CF	-	1.4	NA
	F	-	240.2	NA
	N	-	203.7	NA

ตารางที่ 4 วัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้เตาไมโครเวฟ 800 วัตต์

		Power Meter (Metrix: PX 120)	LabVIEW Power Measurement	% Error
Fundamental	V_{rms} (V)	234.5	236.2	0.71
	I_{rms} (A)	6.3	6.1	0.03
	P (W)	1294	1296.7	0.2
	S (VA)	1451	1456	0.34
	Q (Var)	669.4	667.3	0.31
	P_F	0.8	0.8	0
Harmonic	V_{dc} (V)	-	2	NA
	I_{dc} (A)	-	2.6	NA
	THDi	-	0.4	NA
	THDv	-	0	NA
	D	-	633.4	NA
	DF	-	0.9	NA
	CF	-	1.4	NA
	F	-	1008.9	NA
	N	-	1534.6	NA

ตารางที่ 5 วัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอินเวอร์เตอร์ 1500 วัตต์

		Power Meter (Metrix: PX 120)	LabVIEW Power Measurement	% Error
Fundamental	V_{rms} (V)	232.3	232.3	0
	I_{rms} (A)	OL	12.3	NA
	P (W)	OL	1820.6	NA
	S (VA)	OL	2883.6	NA
	Q (Var)	OL	2236.3	NA
	P_F	OL	0.6	NA
Harmonic	V_{dc} (V)	-	5.7	NA
	I_{dc} (A)	-	9	NA
	THDi	-	1	NA
	THDv	-	0	NA
	D	-	2127.2	NA
	DF	-	0.6	NA
	CF	-	1.4	NA
	F	-	3086.4	NA
	N	-	2799.9	NA

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส ทั้งกำลังไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ฮาร์มอนิกภายใต้สภาวะโหลดไม่เชิงเส้น เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 117 วัตต์ เตาอบไมโครเวฟ 800 วัตต์ และเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอินเวอร์เตอร์ 1500 วัตต์ โดยวัดค่ากำลังไฟฟ้ารวมกันระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า (LV25-P และ LA55-P) จากโหลดจริง ที่สร้างขึ้นแล้วนำสัญญาณดังกล่าวไปประมวลผลด้วยการ์ดประมวลผลสัญญาณ (DAQ) จากนั้น ทำการคำนวณหาค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าและแสดงผลด้วยเครื่องมือวัดแบบเสมือน LabVIEW จากตารางที่ 2 ถึง 5 ผลการวัดค่าองค์ประกอบกำลังไฟฟ้านั้นมาทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า (METRIX PX120) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการวัดที่สร้างขึ้นนั้นให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐานดังกล่าว โดยพบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ 0.2% หากแต่มีเพียงบางองค์ประกอบ เช่น ค่ากระแสผิดเพี้ยน ค่าตัวประกอบผิดเพี้ยน ค่าความผิดเพี้ยนรวม ค่าตัวประกอบยอดคลื่น ค่ากำลังไฟฟ้าผิดเพี้ยน ค่ากำลังไฟฟ้าไม่จริง และค่ากำลังไฟฟ้าไม่เสมือน ไม่สามารถทำการวัดเปรียบเทียบได้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า (METRIX PX120) ไม่สามารถแสดงผลค่าต่างๆ ตามที่ได้ทำการวัดจนครบถ้วนได้

รายการอ้างอิง

วิบูลย์ ชื่นแขก. (2546). **ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง.** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Chen, M.T., Chu, H.Y., Huang, C.L. & Fei, L.W. (1991). Power-component definitions and measurements for a harmonic-polluted power circuit. **Generation Transmission and Distribution IEEE Proceedings C**, 299–306.

Dalvand, H. & Agelidis, V.G. (2010). Real-time Measurement of Power Quantities Under Sinusoidal and Non-sinusoidal Conditions for Single Phase System. **Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) IEEE**, 428-433.

Filipski P.S., Baghzouz, Y. & Cox, M.D. (1994). Discussion of power definitions Contained in the IEEE Dictionary. **Power Delivery IEEE Transaction, 9**(3), 1237-1244.

Orfanos, C.N., & Topalis, F.V. (2005). Single-phase Virtual Power and Energy Analyzer in Compliance with IEEE Std. 1459-2000 for Harmonic Measurement on Discharge Lamps. **Power Tech, 2005 IEEE Russia**, 1-6.