

การพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส  
เมื่อสัญญาณไม่เป็นรูปคลื่นไซน์



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2553

การพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส  
เมื่อสัญญาณไม่เป็นรูปคลื่นไซน์

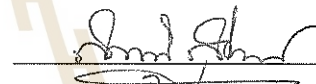
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ อนุมัติให้นำโครงงานมหาบัณฑิตฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน



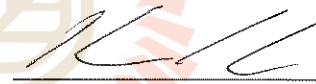
(ผศ. ดร.บุญเรือง มะรังศรี)

ประธานกรรมการ



(ศ. น.ท. ดร.ศราวุฒิ สุจิตจร)

กรรมการ(อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานมหาบัณฑิต)



(ผศ. ดร.เผด็จ เผ่าละออ)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ชำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พิกุล ประวัติศรี : การพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส เมื่อสัญญาณไม่เป็นรูปคลื่น ชายนี

(DEVELOPMENT OF A SINGLE PHASE POWER MEASURING INSTRUMENT FOR NONSINUSOIDAL WAVEFORM)

อาจารย์ที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร. สราวุฒิ สุจิตจร, 131 หน้า.

โครงการนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า สำหรับใช้งานกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่มีพิกัดแรงดัน 400 , 0-3.5 และความถี่อยู่ในย่าน 50-60 Hz โดยอาศัย หลักการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำแม้ว่ารูปคลื่นกระแส และแรงดันของระบบไฟฟ้ามีลักษณะผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นชายนี โครงสร้างของเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยชุดตรวจวัดกระแส และแรงดัน ซึ่งใช้ไอซี ACS712 และหม้อแปลงอัตราส่วน 120:1 และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ARM7024 ทำหน้าที่เป็นชุดเชื่อมต่อและแปลงข้อมูลของกระแส และแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต เพื่อส่งให้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำการคำนวณ และแสดงผลกำลังไฟฟ้าของระบบที่ทำการวัดโดยอาศัยโปรแกรมภาษา Visual Basic

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์  
ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา พิกุล  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Dr. Sravuti

PIKUL PRAWATSRI : DEVELOPMENT OF A SINGLE PHASE POWER

MEASURING INSTRUMENT FOR NONSINUSOIDAL WAVEFORMS

MASTER PROJECT ADVISOR: PROF. SARAWUT SUJITJORN, Ph.D. 131

Pages.

The design and development of a single-phase power measuring instrument are discussed in this project report. This instrument is appropriate for an electrical measurement of 400 V<sub>rms</sub>, 0–3.5 A<sub>rms</sub>, 50–60 Hz. Signal analysis based on the Fast Fourier Transform (FFT) has been used to improve the accuracies of power calculations under distorted waveforms of voltage and current. The developed instrument consists of a set of voltage and current sensors, an ARM7024 microcontroller board, together with appropriate signal conditioning circuits and developed software. A 120:1 transformer is used for voltage sensing, while an IC #ACS712 for current sensing. The functions of the microcontroller include interfacing to a PC and data conversion, in which 12-bit resolutions have been used. Software for PC interfacing and data conversion has been developed in C. Coding in Visual Basic has been used for screen displays of the results

School of Mechatronics of Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature S. Sujitjorn

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส เมื่อสัญญาณไม่เป็นรูปคลื่น  
ซายน์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณา ให้  
คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านดำเนินงานโครงการดังต่อไปนี้

ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สรวิชัย สุจิตจร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษา  
แนะนำ แนวทางการทำโครงการที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำโครงการ

อาจารย์วิชัย ศรีสุรัักษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
สุรนารี ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษาแนะนำให้ทางด้าน โปรแกรมการควบคุมในส่วนของไมโคร  
คอนโทรลเลอร์

นายปรัชญา คุณพงษ์ วิศวกรสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่มีความ  
ตั้งใจ ในการให้คำปรึกษาและแนะนำการเขียนโปรแกรม Visual Basic

นายธีรพงศ์ พิมพ์ปฐุ พนักงานศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาคารเครื่องมือ 3  
ที่ให้ ความสะดวกในการใช้เครื่องมือของห้องปฏิบัติการ

ผู้ทำโครงการขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์มหาวิทยา  
ลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ในด้านต่างๆที่เป็นประโยชน์ สำหรับโครงการนี้  
พร้อมทั้งอบรมชี้แนะแนวทางการดำเนินชีวิตที่ดีให้แก่ผู้ทำโครงการ

สุดท้ายผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำโครง  
งานทุกท่านที่ได้ให้ความรักความอบอุ่นความหวังใยการอบรมเลี้ยงดู และแนะนำแนวทางดำเนิน  
ชีวิตที่ดีให้กำลังใจในยามที่มีอุปสรรค และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดย  
ตลอดจนทำให้ผู้จัดทำโครงการประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

พิกุล ประวัติศรี

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ .....	ญ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	1
1.4 วิธีดำเนินโครงการ .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 หลักการพื้นฐานของไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC).....	3
2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternating Power) กรณีที่สัญญาณไฟฟ้า .....	4
เป็นรูปคลื่นไซน์	
2.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternating Power) กรณีที่สัญญาณไฟฟ้า .....	6
ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์	
2.4 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Power) กรณีที่แรงดันไฟฟ้า .....	9
เป็นรูปคลื่นซาย์ แต่ กระแสไฟฟ้าไม่ เป็นรูปคลื่นไซน์	
2.5 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องมือวัด .....	10
2.6 โปรแกรมในส่วนของ Fast Fourier Transform (FFT) .....	15

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีดำเนินการทำโครงการ.....	19
3.1 การดำเนินการทางด้านฮาร์ดแวร์.....	19
3.2 การดำเนินงานทางด้านซอฟต์แวร์ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส.....	45
4 การวัดผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	49
4.1 ตัวอย่างการทดสอบโปรแกรม.....	49
4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ โปรแกรม.....	67
4.3 การประยุกต์เครื่องมือวัด.....	67
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	83
5.1 สรุป.....	83
5.2 ปัญหาระหว่างทำโครงการและข้อเสนอแนะ.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. โปรแกรม Visual Basic ที่ใช้แสดงผลการคำนวณ.....	86
ภาคผนวก ข. โปรแกรมภาษาซี สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7024.....	105
ภาคผนวก ค. โปรแกรม MATLAB สำหรับตรวจสอบการหามุมเฟส ของสัญญาณในโดเมนความถี่	110
ภาคผนวก ง. รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	131

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ค่าการทดสอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ Voltage Sensor.....21
3.2	ผลการวัดกระแสของ ACS-712 ที่กระแสนินพุตต่างๆ .....28
3.3	ผลการวัดกระแสของ ACS-712 เมื่อป้อนกระแสเป็น $2 A_{rms}$ ที่แรงดันต่างๆ.....29
3.5	ผลการวัดกระแสของ ACS-712 ที่กระแสนินพุตต่างๆ .....30
3.6	ผลการทดสอบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ .....32



## สารบัญรูป

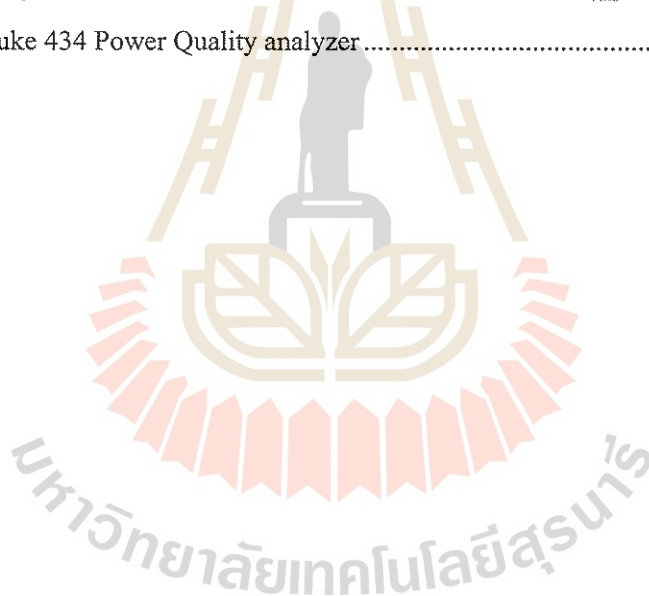
รูปที่	หน้า
2.1 กราฟของแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ .....	3
2.2 กราฟของแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ .....	5
2.3 แผนภาพกำลังไฟฟ้าบิดเบี้ยวเนื่องจากกระแสไฟฟ้า .....	9
2.4 แผนภาพการประมวลผลสัญญาณ .....	11
2.5 ตัวอย่าง (ก) สัญญาณ $\tilde{x}(n)$ และ (ข) สัญญาณ $x(n)$ .....	12
2.6 กราฟของการคำนวณ DFT จำนวน 2 จุด (บัคเคอร์ฟลาย) .....	14
2.7 กราฟของการคำนวณ DFT จำนวน 4 จุด .....	14
2.8 Flow diagram ของ FFT ในการเขียน โปรแกรม .....	15
3.1 แผนภาพแสดงแนวคิดในการออกแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า .....	19
3.2 แผนภาพแสดงอุปกรณ์กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส .....	20
3.2 อุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส .....	20
3.3 วงจรทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า .....	.....
3.5 ผลการทดสอบเซ็นเซอร์วัดแรงดัน ไฟฟ้า .....	.....
3.4 แผนผังฟังก์ชันการทำงานภายในของ ASC-712 .....	.....
3.5 การทดสอบเซนเซอร์กระแส ACS-712 .....	.....
3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนกับแรงดันเอาต์พุตจาก ACS-712 .....	.....
3.7 อุปกรณ์เพื่อการวัดและทดสอบการแปลงค่าแรงดันเป็นกระแส .....	.....
3.8 การทดสอบลำดับที่ 0 ไม่มีโหลด ( $0 V_{rms}, 0 A_{rms}$ ) .....	.....
3.9 การทดสอบลำดับที่ 1 โหลดความต้านทาน( $220\Omega$ ) ( $220 V_{rms}, 1 A_{rms}$ ) .....	.....
3.10 การทดสอบลำดับที่ 2 โหลดความต้านทาน( $110\Omega$ ) ( $220 V_{rms}, 2 A_{rms}$ ) .....	.....
3.11 การทดสอบลำดับที่ 3 โหลด RC ขนาน-( $220\Omega, 3300\mu F$ ) ( $220 V_{rms}, 1 A_{rms}$ ) .....	.....
3.12 การทดสอบลำดับที่ 4 โหลด RC ขนาน( $110\Omega, 3300\mu F$ ) ( $220 V_{rms}, 2 A_{rms}$ ) .....	.....
3.13 การทดสอบลำดับที่ 5 โหลด RL อนุกรม( $208\Omega, \dots mH$ ) ( $220 V_{rms}, 1 A_{rms}$ ) .....	.....
3.14 การทดสอบลำดับที่ 6 โหลด RL อนุกรม ( $220 V_{rms}, 2 A_{rms}$ ) .....	.....
3.15 การทดสอบลำดับที่ 7 โหลดวงจรเรียงกระแส $0.5 A_{rms}$ .....	.....

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 การทดสอบลำดับที่ 8 โหลดวงจรเรียงกระแส $1 A_{rms}$ .....	
3.17 วงจรปรุงแต่งสัญญาณที่ใช้ในโครงการ .....	
3.18 วงจรทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส .....	
3.19 หน้าต่างแรกของโปรแกรมแสดงผลด้วยกราฟ .....	
3.20 หน้าต่างที่ 2 ของโปรแกรม (RMS Value) .....	
3.21 หน้าต่างที่ 3 ของโปรแกรม (General Display) .....	
3.22 หน้าต่างที่ 1 ของโปรแกรมแสดงผลด้วยกราฟ .....	
4.1 การทดสอบวงจรวัดกำลังไฟฟ้า .....	
4.2 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยวและไม่มีการเลื่อนเฟส .....	
4.3 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยว .....	
4.4 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีแรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยว .....	
แต่มีการเลื่อนเฟสของแรงดัน	
4.5 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีแรงดันไม่บิดเบี้ยว แต่กระแสไฟฟ้าบิดเบี้ยว .....	
และไม่มีการเลื่อนเฟส	
4.6 ผลการทดสอบจากโปรแกรม ในกรณีแรงดันไม่บิดเบี้ยวแต่กระแสบิดเบี้ยว .....	
และมีการเลื่อนเฟส ของกระแส	
4.7 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับระบบขับมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส .....	
ด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด $49.7 V_{rms}$ และกระแส 0.5	
4.8 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer .....	
4.9 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับระบบขับมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส .....	
ด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด $95 V_{rms}$ และกระแส $1.0 A_{rms}$	
4.10 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer .....	
4.11 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) ต่อขนานกับ .....	
ตัวเก็บประจุ (C) 3300 uF เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด $50 V_{rms}$ และกระแส $0.5 A_{rms}$	
4.12 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer .....	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) ต่อขนานกับ..... ตัวเก็บประจุ(C) 3300 uF เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด $210 V_{rms}$ และกระแส $1.4 A_{rms}$	
4.14 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer .....	
4.15 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R)เพื่อจ่าย ..... แรงดันไฟฟ้าให้โหลด $210 V_{rms}$ 50 Hz และกระแส $1.4 A_{rms}$	
4.16 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer .....	
4.17 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) ต่อขนานกับ..... ตัวเก็บประจุ (C) 3300 uF เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด $220 V_{rms}$ และกระแส $0.5 A_{rms}$	
4.18 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer .....	



## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

$W$	=	width of the microstrip or patch antenna
$l$	=	length of microstrip or patch antenna
$h$	=	thickness of substrate
$E$	=	electric field
$H$	=	magnetic field
$K$	=	stability factor
S-parameter	=	scattering parameter
$S_{11}$	=	input reflection coefficient
$S_{12}$	=	reverse transmission coefficient
$S_{21}$	=	forward transmission coefficient
$S_{22}$	=	output reflection coefficient
$\Gamma_{in}$	=	input reflection coefficient
$\Gamma_{out}$	=	output reflection coefficient
$\Gamma_T$	=	load reflection coefficient
$\Gamma_S$	=	source reflection coefficient
$\Delta$	=	delta factor
$Z_{in}$	=	input impedance
$Z_{out}$	=	output impedance
$Z_S$	=	source impedance
$Z_T$	=	load impedance
$\beta$	=	propagation constant
$\epsilon_r$	=	relative permittivity
$Z_S$	=	source impedance
$Z_T$	=	load impedance
$\beta$	=	propagation constant
$\epsilon_r$	=	relative permittivity

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

$\mu_o$	=	Permeability
$\epsilon_o$	=	Permittivity
$\epsilon_{re}$	=	effective dielectric constant
$\eta$	=	intrinsic impedance
$\lambda_0$	=	wavelength of electromagnetic wave in free space
$\lambda_d$	=	wavelength of electromagnetic wave in dielectric
$R_m$	=	input impedance of patch antenna
$f$	=	frequencyz
$r_s$	=	radial of input stability circle
$C_s$	=	center of input stability circle
$r_T$	=	radial of output stability circle
$C_T$	=	center of output stability circle
$Z_{OT}$	=	transformer impedance
$W_{eff}$	=	effective width

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเครื่องมือสำหรับวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่ากำลังไฟฟ้า ของระบบไฟฟ้า โดยทั่วไปจะสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ได้ถูกต้อง เมื่อกระแสและ แรงดันของระบบมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์เท่านั้น เนื่องจากเครื่องมือวัดดังกล่าว พัฒนาขึ้นบน พื้นฐานที่ไม่คำนึงถึงความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นจริงในระบบ

โครงการนี้จึงได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่ใช้ PC NoteBookเป็นอุปกรณ์หลักทำงาน โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าแบบการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) ซึ่งสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง ไม่ว่ากระแส และแรงดันของระบบไฟฟ้าจะเป็นรูปคลื่นไซน์หรือไม่ก็ตาม โครงสร้างของเครื่องวัดที่จะพัฒนาขึ้นประกอบด้วยชุดเซนเซอร์วัดกระแส และแรงดันชุดอินเตอร์เฟสระหว่างวงจรวัดกำลังไฟฟ้ากับคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการโปรแกรมภาษา VisualBasic เป็นเครื่องมือในการคำนวณและแสดงผลกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่วัดได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ที่มี สัญญาณไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ โดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic เพื่อคำนวณและแสดงผล
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาชุดเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE ARM7024 (ADUc7024) เข้ากับเซนเซอร์วัดกระแสและแรงดัน

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีพิกัดแรงดันยังผล 400 และกระแสยังผลอยู่ในย่าน 0 – 3.5
- 1.3.2 จัดหาอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างวงจรวัดกำลังไฟฟ้าที่ออกแบบกับคอมพิวเตอร์

- 1.3.3 พัฒนาโปรแกรมการคำนวณและแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส เครื่องมือวัด ที่จะพัฒนาขึ้นสามารถวัดกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power: P) กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power: Q) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) ได้
- 1.3.4 เครื่องมือวัดที่จะพัฒนาขึ้นใช้งานได้กับระบบไฟฟ้าที่มีกระแสและแรงดันที่มีลักษณะเป็น รายคาบเท่านั้น

#### 1.4 วิธีดำเนินโครงการ

- 1.4.1 ค้นคว้าและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างวงจรการวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่เหมาะสม
- 1.4.3 จัดหาอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างวงจรไฟฟ้ากับคอมพิวเตอร์
- 1.4.4 ศึกษาการใช้งาน และทดสอบการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านโปรแกรมภาษา Visual Basic
- 1.4.5 ใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic คำนวณ และออกแบบตัวแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้ากระแส สลับ
- 1.4.6 ทดสอบการทำงานของระบบโดยรวมทั้งหมด อ้างอิงกับเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ
- 1.4.7 เก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ค่ากระแสต่างๆ
- 1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลลัพธ์ที่ได้

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ ความเข้าใจในนิยามและหลักการวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส
- 1.5.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมภาษา Visual Basic เพื่อคำนวณและแสดงผล
- 1.5.3 ได้เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าต้นแบบสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีกระแส และแรงดัน ผิดเพี้ยนไป จากรูปคลื่นไซน์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หรือบุคคลภายนอกที่สนใจ
- 1.5.4 สามารถนำความรู้ความเข้าใจ และทักษะที่ได้จากโครงการงานวิจัยนี้ไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในอนาคตได้



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

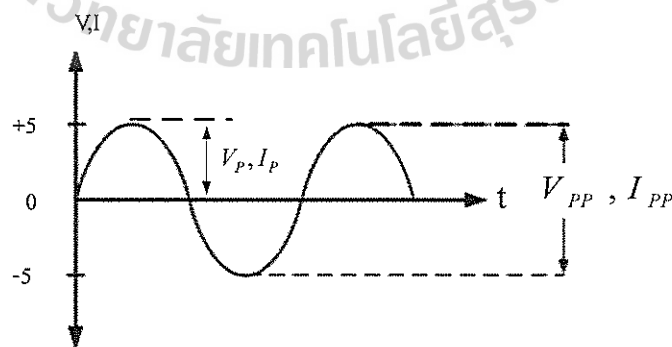
#### 2.1 หลักการพื้นฐานของไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC)

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่มีการสลับสับเปลี่ยนชั่วอยู่ตลอดเวลาอย่าง สม่ำเสมอ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนสลับไปมา ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เมื่อนำไฟฟ้ากระแสสลับมาเขียนเป็นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับมุมที่เปลี่ยนไป เมื่อเวลาผ่านไปในขณะที่เกิดการไหลของกระแส ไฟฟ้าจะได้รับความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นโค้งสลับขึ้นลงไปมา ซึ่งรูปคลื่นที่สลับกลับไปกลับมา เมื่อครบ 1 รอบเรียกว่า 1 ไซเคิล (cycle) หรือ 1 รูปคลื่น และจำนวนรูปคลื่น ทั้งหมด ในเวลาที่ผ่านมา 1 วินาที เรียกว่าความถี่ (frequency) ซึ่งความถี่ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hertz) สำหรับความถี่ไฟฟ้า ในประเทศไทยเท่ากับ 50 เฮิรตซ์

ถ้าไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าเพียง 1 รูปคลื่น เรียกว่าไฟฟ้า กระแสสลับ 1 เฟส

ถ้าไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าออกมาพร้อมกัน 2 รูปคลื่น เรียกว่า ไฟฟ้า กระแส สลับ 2 เฟส

ถ้าไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าออกมาพร้อมกัน 3 รูปคลื่น เรียกว่า ไฟฟ้า กระแส สลับ 3 เฟส



รูปที่ 2.1 กราฟของแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ



## 2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternating Power) กรณีที่สัญญาณไฟฟ้าเป็นรูปคลื่น ไซน์

2.2.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) ใช้สัญลักษณ์  $P$  มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watts: W) บางครั้งอาจเรียก  $P$  นี้ว่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power หรือ Active Power) เป็นกำลังที่แปลงรูป จากไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปอื่นที่ไม่ใช่ไฟฟ้า ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าส่วนที่โหลดต้องการใช้ เพื่อสร้าง กำลังทางกลหรือความร้อนเป็นส่วนที่สร้างเอาต์พุตที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง เมื่อใช้การกำหนด เครื่องหมายอย่างพาสซีฟ อาจเขียนการแสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ว่า

$$P = \frac{1}{2} V_p I_p \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.1)$$

$$= V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i)$$

2.2.2 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive Power) เมื่อ  $Q_v$  และ  $Q_i$  คือมุมเฟสของแรงดันและ กระแสไฟฟ้าตามลำดับใช้สัญลักษณ์  $Q$  มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR) เป็นกำลังไฟฟ้าส่วนที่โหลดต้อง การ เพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่หมุนวนในแกนเหล็กในตัวเครื่องจักร ดังนั้นเครื่องจักรที่ อาศัยแกนเหล็กในการทำงาน เช่น มอเตอร์หม้อแปลงบัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะต้อง การกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้มากเป็นพิเศษ เมื่อใช้การกำหนดเครื่องหมายอย่างพาสซีฟ อาจเขียนการ แสดงกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟได้ว่า

$$Q = \frac{1}{2} V_p I_p \sin(\theta_v - \theta_i) \quad (2.2)$$

$$= V_{rms} I_{rms} \sin(\theta_v - \theta_i)$$

2.2.3 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex Power) คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลัง ไฟฟ้รีแอกทีฟในรูปแบบค่าเชิงซ้อน ใช้สัญลักษณ์  $S$  มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมแปร์ (Volt-amperes: VA) กล่าวคือ

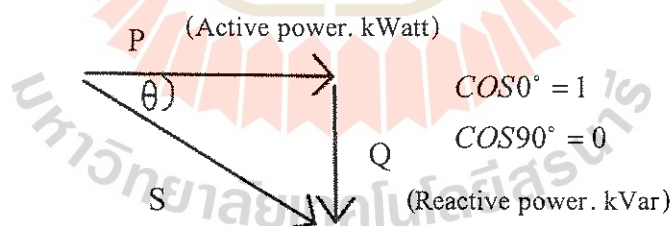
$$S = P + jQ \quad (2.3)$$

2.2.4 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) เป็นขนาดของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน ใช้สัญลักษณ์  $|S|$  มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมแปร์ (Volt-amperes: VA) นั่นคือ

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.4)$$

2.2.5 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor: PF) หรือที่เรียกสั้นๆ ว่าค่า PF นั้น คือค่าที่บอกลักษณะของโหลดทางไฟฟ้าว่าใช้อัตราส่วนของกำลัง เฉลี่ย และกำลังรีแอกทีฟ ในสัดส่วนเท่าใด ซึ่งเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดัน ของอุปกรณ์ ไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0-1 เช่น หากพูดถึง ค่า PF ของโรงงานแห่งหนึ่ง ค่า PF จะเป็นตัว บอกลักษณะ กำลังเฉลี่ย และกำลังรีแอกทีฟของ โหลดทุกตัวในโรงงานนั้นรวมกัน โหลดทางไฟฟ้าใดๆ ก็ตามจะต้องการ กำลังไฟฟ้า 2 ส่วนเสมอ แต่อาจมีความต้องการใน อัตราส่วนที่แตกต่างกัน ค่า PF นี้ชี้เป็นชี้ว่า โหลดใช้อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 ส่วนนี้อย่างไร

$$\text{ค่า PF หรือ ค่า } \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{Q^2 + P^2}} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.2 กราฟของแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

จากสูตรและรูปเวกเตอร์ สามารถสรุปได้ว่า ค่า PF จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 เมื่อ โหลด ไม่มีการใช้ กำลังรีแอกทีฟเลย และจะมีค่าน้อยลง (เข้าใกล้ศูนย์) เมื่อ โหลดใช้กำลังรีแอกทีฟมากขึ้น

### 2.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternating Power)กรณีที่มีสัญญาณไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นชานัน

สามารถแสดงสมการของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า เมื่อสัญญาณไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นชานัน ได้ดังนี้

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h=0}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (2.6)$$

เมื่อ  $v(t)$  คือ แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ  
 $V_0$  คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย  
 $V_h$  คือ แรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่ความถี่ต่างๆ

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h=0}^{\infty} I_h \sin(h\omega t + \beta_h) \quad (2.7)$$

เมื่อ  $i(t)$  คือ กระแสไฟฟ้าชั่วขณะ  
 $I_0$  คือ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย  
 $I_h$  คือ กระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่ความถี่ต่างๆ

ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ของแรงดันและกระแสไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการ

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} V_h^2} \text{ และ } I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} \quad (2.8)$$

หากทำการแยก Fundamental Component ออกจาก Harmonic Component จะได้สมการ

$$V^2 = V_1^2 + V_h^2 \text{ และ } I^2 = I_1^2 + I_h^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ  $V_H^2 = \sum_{h=1} V_h^2$  และ  $I_H^2 = \sum_{h=1} I_h^2$

2.3.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) มีหน่วยเป็น โวลต์ - แอมแปร์ (Volt – Amperes: VA)

กล่าวคือผลรวมของกำลังไฟฟ้าปรากฏของความถี่มูลฐานและกำลังไฟฟ้าปรากฏในความถี่อื่นที่เป็นฮาร์มอนิก นั่นคือ กำลังไฟฟ้าปรากฏจะประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าสองส่วน แสดงได้ ตามสมการ (2.10)

$$S_{rms}^2 = (VI)_{rms}^2 = (V_1I_1)^2 + (V_1I_H)^2 + (V_HI_1)^2 + (V_HI_H)^2 \quad (2.10)$$

$$S^2 = S_1^2 + S_N^2$$

เมื่อ  $S_1$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของความถี่มูลฐาน (Fundamental Apparent Power)

$$S_1^2 = (V_1I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (2.11)$$

$S_N$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของความถี่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ความถี่มูลฐาน (Non-fundamental Apparent Power)

$$S_N^2 = (V_1I_H)^2 + (V_HI_1)^2 + (V_HI_H)^2 \quad (2.12)$$

2.3.2 กำลังไฟฟ้าของความถี่มูลฐาน (Fundamental Power)

➢ กำลังไฟฟ้าปรากฏของความถี่มูลฐาน (Fundamental Apparent Power:  $S_1$ ) มีหน่วยเป็น VA ประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าสองส่วน ตามสมการ

$$S_1^2 = (V_1I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (2.13)$$

➢ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของความถี่มูลฐาน (Fundamental Active Power:  $P_1$ ) มีหน่วยเป็น watt

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.14)$$

- กำลังไฟฟัรแอกทีฟของควมถึมูลฐาน (Fundamental Reactive Power:  $Q_1$ ) มีหน่วยเป็น VAR

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin \theta_1 \quad (2.15)$$

โดย  $\theta_1 = \alpha_1 - \beta_1$

2.3.3 กำลังไฟฟัฮาร์โมนิก (Harmonic Power) พิจรณาจากสมการที่ (2.11) จะได้ค่ากำลังไฟฟัดังนี้

- กำลังไฟฟัปรากฏของฮาร์โมนิกต่างๆ (Harmonic Apparent Power:  $S_H$ )

$$S_H^2 = (V_H I_H)^2 = P_H^2 + N_H^2 \quad (2.16)$$

ซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟัเฉลี่ยของควมถึฮาร์โมนิก (Harmonic Active Power:  $P_H$ ) มีหน่วยเป็น watt

$$P_H = \sum_{h=1} V_h I_h \cos \theta_h \quad (2.17)$$

และกำลังไฟฟัรีแอกทีฟรวมของฮาร์โมนิก (Total Harmonic Nonactive Power:  $N_H$ ) มีหน่วยเป็น VAR

$$N_H = \sum_{h=1} V_h I_h \sin \theta_h \quad (2.18)$$

โดย  $\theta_h = \alpha_h - \beta_h$

- กำลังไฟฟ้าปรากฏจากความผิดเพี้ยนของกระแส (Current Distortion Power:  $S_{IH}$ )

$$S_{IH}^2 = (V_1 I_H)^2 \quad (2.19)$$

- กำลังไฟฟ้าปรากฏจากความผิดเพี้ยนของแรงดัน (Voltage Distortion Power:  $S_{VH}$ )

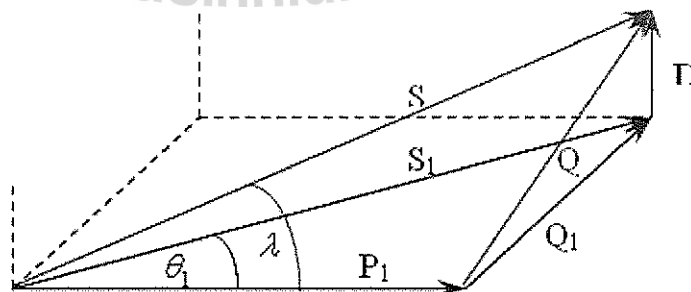
$$S_{VH}^2 = (V_H I_1)^2 \quad (2.20)$$

2.3.4 ตัวประกอบกำลัง (Total Power Factor; PF)

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{(P_1 + P_H)}{S} \quad (2.21)$$

## 2.4 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Power) กรณีที่แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ แต่ กระแสไฟฟ้าไม่ เป็นรูปคลื่นไซน์

ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ แต่กระแสไฟฟ้าไม่ เป็นรูปคลื่นไซน์ จะเกิดกำลังไฟฟ้าชนิดหนึ่งขึ้นเรียกว่ากำลังไฟฟ้าบิดเบี้ยว (Distortion Power; D) มีหน่วยเป็น VA<sub>d</sub> ซึ่งกำลังไฟฟ้านี้เกิดจากบิดเบี้ยวของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า สามารถแสดงให้เห็นตามแผนภาพดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพกำลังไฟฟ้าบิดเบี้ยวเนื่องจากกระแสไฟฟ้า

$$\text{Harmonic displacement factor} = \cos \lambda = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + D^2}} \quad (2.22)$$

โดย  $Q^2 = Q_1^2 + D^2$

เขียนใหม่ได้

$$D^2 = Q^2 - Q_1^2$$

$$\therefore \text{Distortion Power } D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} \quad (2.23)$$

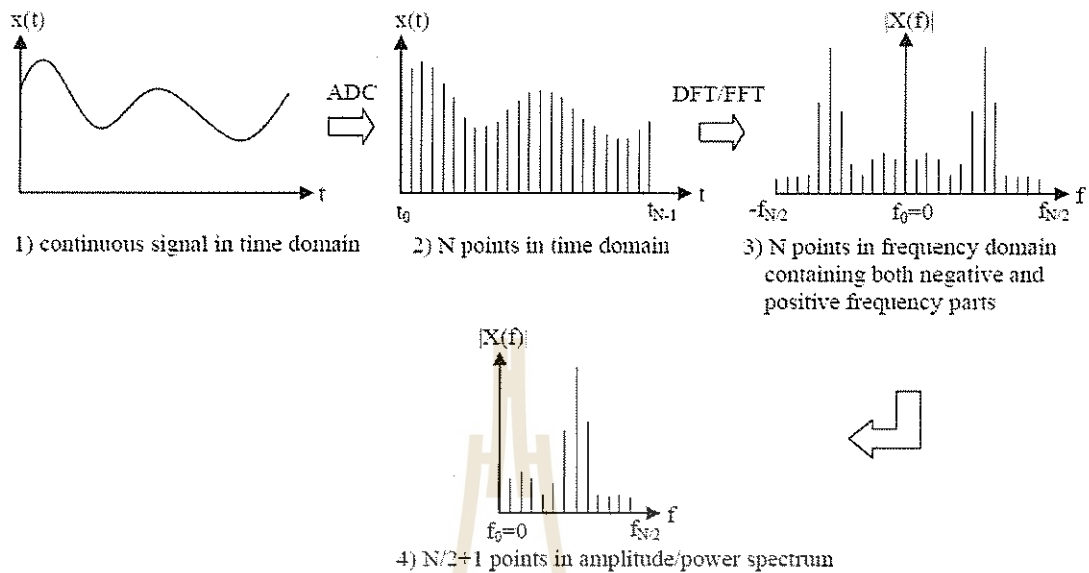
จากแผนภาพกำลังเราสามารถหา  $Q$  ได้จาก  $\Delta S, P_1, Q$

$$Q = \sqrt{S^2 - P_1^2} \quad (2.24)$$

## 2.5 การแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องมือวัด

การวัดสัญญาณต่างๆในงานทางวิศวกรรมอาจแสดงผลการวัดได้ทั้งทางโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ เครื่องมือวัดสัญญาณส่วนใหญ่ให้การแสดงผลในโดเมนเวลา เมื่อต้องการใช้ประโยชน์ข้อมูลในโดเมนความถี่ต้องพึ่งพาการคำนวณเพื่อเปลี่ยนโดเมน เครื่องมือวัดบางประเภทอาจมีโหมดการทำงานนี้ แต่ก็พบว่ามักมีราคาแพงอีกทางเลือกหนึ่งเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่วิศวกรอาจเขียนขึ้นเอง หรืออาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปเทคนิคทางการคำนวณที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางคือการแปลงฟูรีเยอร์ (Fourier transform) ที่กระทำกับสัญญาณรายคาบในเวลาต่อเนื่อง ผลการแปลง จะให้สเปกตรัมทางขนาดและเฟสของสัญญาณรายคาบนั้นๆอย่างไรก็ตามรายงานนี้ ขอละเว้นการทบทวนเนื้อหาส่วนนี้ เพราะผู้อ่านสามารถศึกษาได้จากตำราคณิตศาสตร์ขั้นสูง โดยทั่วไปในทางเครื่องมือวัดการคำนวณอาศัยคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำงานกับสัญญาณดิสครีตที่เป็นสัญญาณต่อเนื่อง ผ่านกระบวนการสุ่มสัญญาณแล้ว โปรแกรมคำนวณฟังก์ชันอัลกอร์ิทึมที่รู้จักกันในนามการแปลง ฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform หรือ FFT) ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

### 2.5.1 ขั้นตอนในการประมวลผลสัญญาณ



รูปที่ 2.4 แผนภาพการประมวลผลสัญญาณ

จากแผนภาพเมื่อเซ็นเซอร์วัดกระแส และแรงดัน ไฟฟ้า ได้สัญญาณแบบต่อเนื่องในโดเมนเวลา และส่งสัญญาณผ่านตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล จะได้สัญญาณแบบดิจิทัลที่เป็นจุดในทางโดเมนเวลาจำนวน  $N$  จุดจากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไปผ่านการแปลงทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การแปลงฟูรีเยร์ อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจึงจะได้สัญญาณในทางโดเมนความถี่

### 2.5.2 อัลกอริทึมการแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว

การแปลงฟูรีเยร์เต็มหน่วยของสัญญาณ  $x(n)$  พิจารณาได้จากอนุกรมฟูรีเยร์เต็มหน่วย (discrete Fourier series หรือ DFS) ของสัญญาณเป็นคาบ  $\tilde{X}(n)$  ที่มีคาบเท่ากับ  $N$  แสดงได้ดังสมการ (2.25)

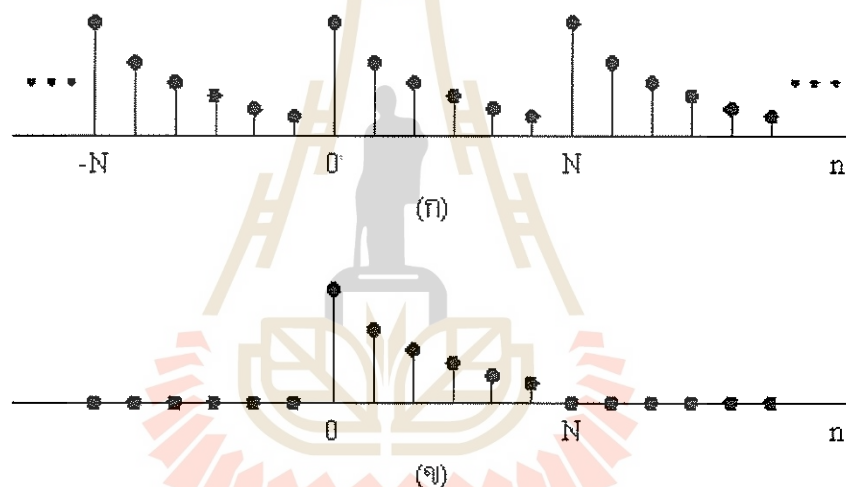


$$\tilde{x}(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{X}(k) e^{j\left(\frac{2\pi}{N}\right)kn} \quad (2.25)$$

โดย  $\tilde{X}(k)$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์ซึ่งคำนวณได้จาก  $\tilde{x}(n)$  ตามความสัมพันธ์ดังสมการ (2.26)

$$\tilde{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{x}(n) e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)kn} \quad (2.26)$$

เมื่อพิจารณา  $x(n)$  ให้เป็นหนึ่งคาบของ  $\tilde{x}(n)$  แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง (ก) สัญญาณ  $\tilde{x}(n)$  และ (ข) สัญญาณ  $x(n)$

ค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ของ  $x(n)$  จึงมีค่าเท่ากับหนึ่งคาบของ  $\tilde{X}(k)$  แสดงดังสมการ (2.27) ซึ่งเรียกว่า ผลการแปลงฟูรีเยร์เต็มหน่วย หรือ DFT

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)kn} \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (2.27)$$

สเปกตรัมขนาดของ  $X(k)$  จะแสดงองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ  $x(n)$  ที่ให้พลังงานสูงสุดในโครงงานนี้ นำอัลกอริทึมการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform หรือ FFT) มาใช้ในการคำนวณ DFT ซึ่งเป็นเทคนิคในการคำนวณ DFT ที่มีประสิทธิภาพสูง ได้ผลดีทางด้านความรวดเร็วแล้วยังช่วยลดความผิดพลาดต่างๆ และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณที่อาจเกิดขึ้นให้น้อยลง เพราะลดจำนวนครั้งในการคูณและบวกกันลงเหลือเพียง  $N \log_2(N)$  ครั้ง แทนที่จะเป็น  $N^2$  ครั้งตามปกติ โดยกำหนดให้  $N$  เป็นค่ากำลังของสอง และ  $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$  จะได้  $X(k)$  มีค่าตามสมการ (2.28)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (2.28)$$

อัลกอริทึม FFT จะทำการแบ่ง  $x(n)$  ออกเป็นสองลำดับเท่าๆ กัน คือลำดับของเลขคู่ (แทน  $n = 2r$ ) และลำดับของเลขคี่ (แทน  $n = 2r+1$ ) โดยที่  $0 \leq r \leq (N/2)-1$  ดังสมการ (2.29)

$$X(k) = \sum_{r=0}^{(N/2)-1} x(2r)W_N^{rk} + \sum_{r=0}^{(N/2)-1} x(2r+1)W_N^{(2r+1)k} \quad (2.29)$$

ให้  $W_N^2 = W_{N/2}$  จะได้ DFT จำนวนจุดเป็นผลรวมของ DFT จำนวน  $N/2$  จุด สองลำดับ แสดงดังสมการ (2.30)

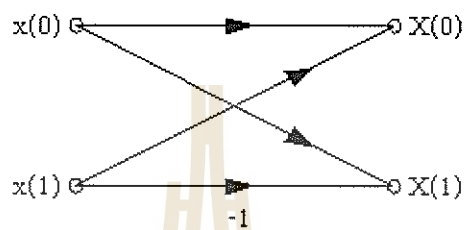
$$X(k) = \sum_{r=0}^{(N/2)-1} x(2r)W_{N/2}^{rk} + W_N^k \sum_{r=0}^{(N/2)-1} x(2r+1)W_{N/2}^{rk} \quad (2.30)$$

ซึ่งแต่ละลำดับสามารถแยกออกเป็นผลรวมของ DFT จำนวน 4 จุด สองลำดับจนกระทั่งแยกได้เป็น DFT จำนวน 2 จุด  $N/2$  ลำดับ กระบวนการจึงจะสิ้นสุด การคำนวณ DFT จำนวน 2 จุด แสดงได้ดังสมการ (2.31) และเนื่องจาก  $W_1^{0k} = 1$  และ  $W_1^k = (-1)^k$  จะได้ค่าของ  $X(k)$  แสดงดังสมการ (2.32) และ (2.33) แทนด้วยกราฟที่เรียกว่า บัตเตอร์ ฟลาย (butterfly) ได้ดัง รูปที่ 2.6 และการคำนวณ DFT จำนวน 4 จุด แสดงดังรูปที่ 2.7 (Oppenheim and Schafef, 1989)

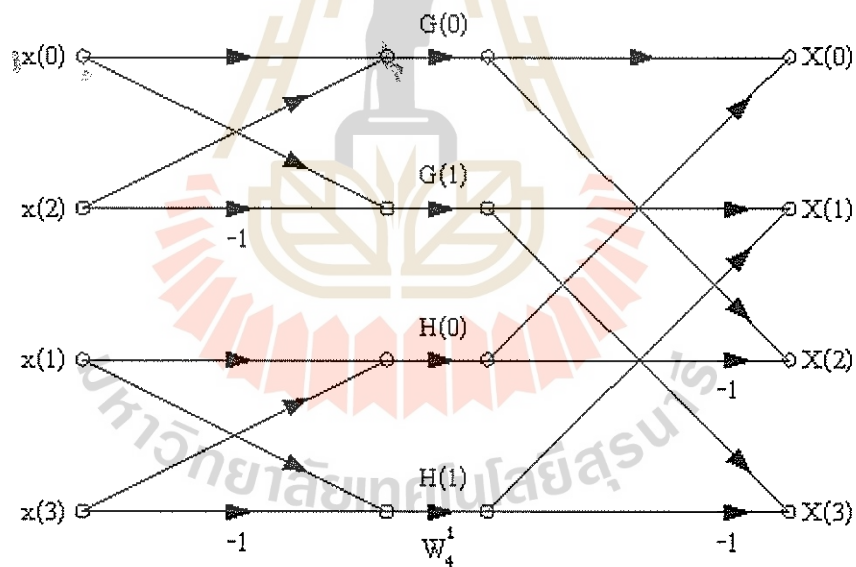
$$X(k) = x(0)W_1^{0k} + W_2^k [x(1)W_1^{0k}], \quad k=0, 1 \quad (2.31)$$

$$X(0) = x(0) + x(1) \quad (2.32)$$

$$X(1) = x(0) - x(1) \quad (2.33)$$



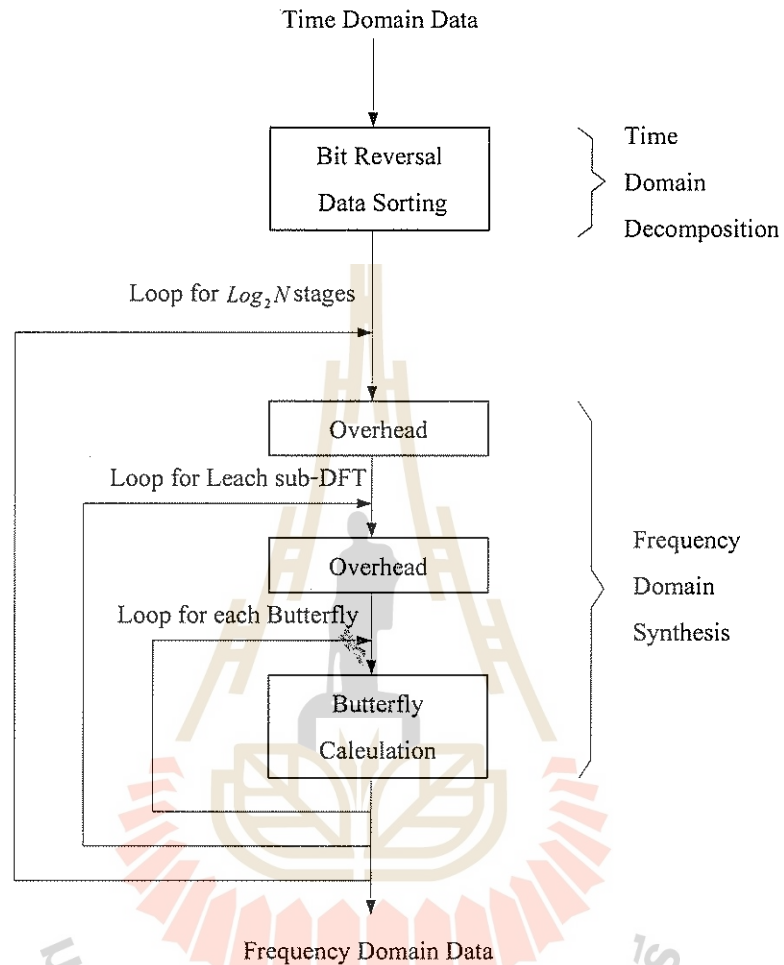
รูปที่ 2.6 กราฟของการคำนวณ DFT จำนวน 2 จุด (บัตเตอร์ฟลาย)



รูปที่ 2.7 กราฟของการคำนวณ DFT จำนวน 4 จุด

สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณด้วย DFT การเพิ่มความถูกต้องของตำแหน่งเส้นสเปกตรัม ทำได้โดยเพิ่มขนาดของการคำนวณ DFT ให้เป็น  $r$  จุด ซึ่งจำนวนจุดที่เพิ่มขึ้นจะเป็นศูนย์

## 2.6 โปรแกรมในส่วนของ Fast Fourier Transform (FFT)



รูปที่ 2.8 Flow diagram ของ FFT ในการเขียนโปรแกรม

จากไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำ Fast Fourier Transform (FFT) จะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ได้แก่

- (1) การแยกสัญญาณในโดเมนเวลา (Time Domain Decomposition)
- (2) การหาสเปกตรัมที่มีจำนวน  $N$  จุด เหมือนกัน (ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในไดอะแกรม)
- (3) การรวมสเปกตรัมของโดเมนความถี่ จากสเปกตรัมหลายๆ อัน จะได้เป็นอันเดียว (Frequency Domain Synthesis)

Code โปรแกรมของ Visual Basic 6.0 ในส่วนของ FFT Program

---

```

Public Sub FFT()

pi = 3.14159265      'Set constants

1000 'THE FAST FOURIER TRANSFORM

1010 'Upon entry, N% contains the number of points in the DFT, REX[ ] and

1020 'IMX[ ] contain the real and imaginary parts of the input. Upon return,

1030 'REX[ ] and IMX[ ] contain the DFT output. All signals run from 0 to N%-1.

1060 NM1% = N% - 1

1070 ND2% = N% / 2

1080 M% = CInt(Log(N%) / Log(2))

1090 J% = ND2%

1100 '

1110 For i% = 1 To N% - 2      'Bit reversal sorting

1120     If i% >= J% Then GoTo 1190

1130     TR = REX(J%)

1140     TI = IMX(J%)

1150     REX(J%) = REX(i%)

1160     IMX(J%) = IMX(i%)

1170     REX(i%) = TR

1180     IMX(i%) = TI

1190     K% = ND2%

```

```

1200   If K% > J% Then GoTo 1240
1210   J% = J% - K%
1220   K% = K% / 2
1230   GoTo 1200
1240   J% = J% + K%
1250 Next i%
1260 '
1270 For L% = 1 To M%                                'Loop for each stage
1280   LE% = CInt(2 ^ L%)
1290   LE2% = LE% / 2
1300   UR = 1
1310   UI = 0
1320   SR = Cos(pi / LE2%)                            'Calculate sine & cosine
values
1330   SI = -Sin(pi / LE2%)
1340   For J% = 1 To LE2%                              'Loop for each sub DFT
1350     JM1% = J% - 1
1360     For i% = JM1% To NM1% Step LE%                'Loop for each butterfly
1370       IP% = i% + LE2%
1380       TR = REX(IP%) * UR - IMX(IP%) * UI        'Butterfly calculation
1390       TI = REX(IP%) * UI + IMX(IP%) * UR
1400       REX(IP%) = REX(i%) - TR
1410       IMX(IP%) = IMX(i%) - TI

```

1420             $REX(i\%) = REX(i\%) + TR$

1430             $IMX(i\%) = IMX(i\%) + TI$

1440            Next i%

1450             $TR = UR$

1460             $UR = TR * SR - UI * SI$

1470             $UI = TR * SI + UI * SR$

1480            Next J%

1490            Next L%

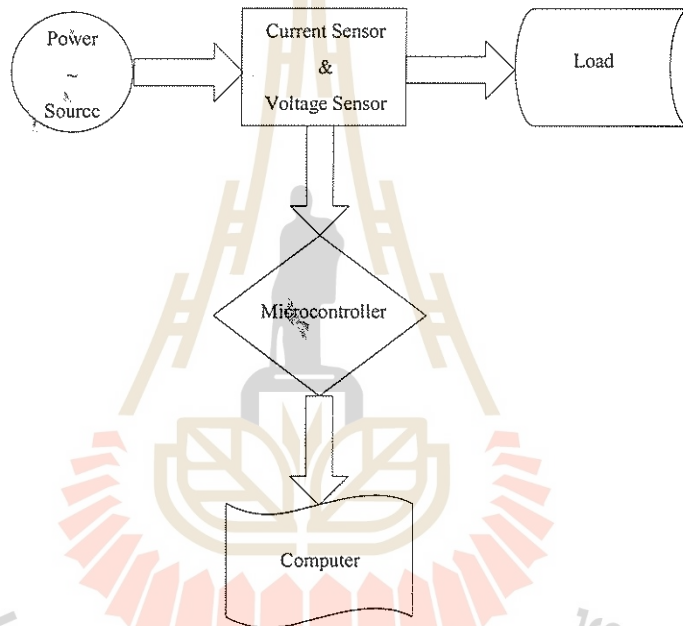
End Sub



### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการทำโครงการ

การดำเนินการโครงการสำหรับสร้างเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ซึ่งมีพิคต์แรงดัน ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0 – 400 และพิคต์กระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0 – 3.5 ในการออกแบบวงจรสามารถ แสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงแนวคิดในการออกแบบเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

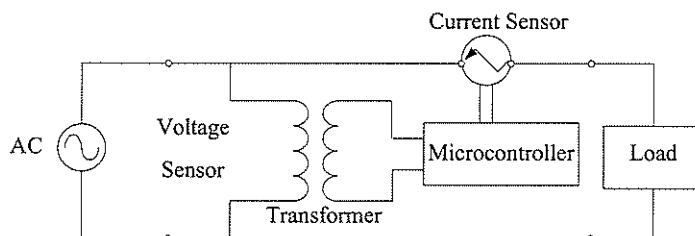
โครงการนี้มีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.1 การดำเนินการทางด้านฮาร์ดแวร์

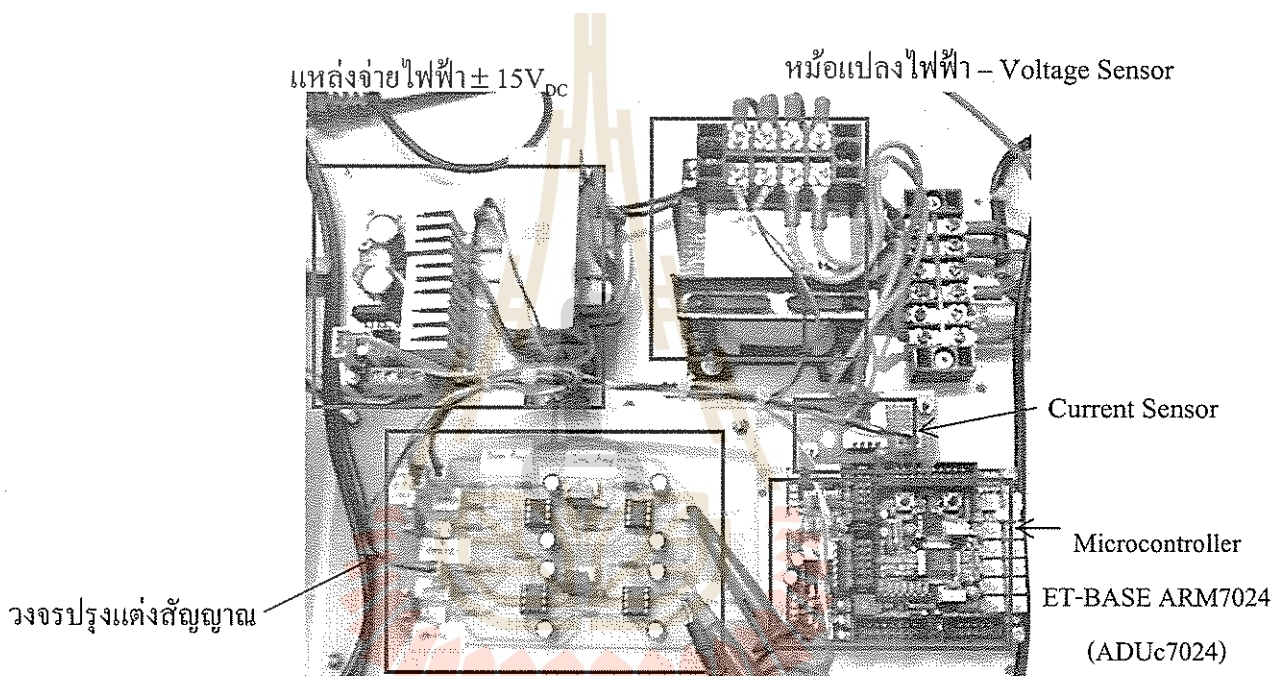
สามารถแบ่งการดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์ ได้เป็นขั้นตอน ดังต่อไปนี้



3.1.1 การออกแบบวงจรสำหรับวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส



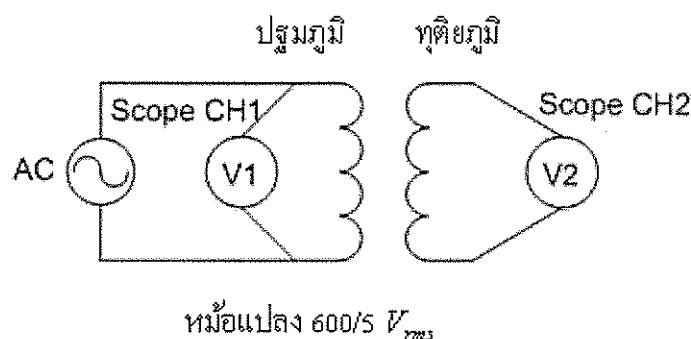
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงอุปกรณ์กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

3.1.2 เซนเซอร์วัดปริมาณทางแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส และการทดสอบ

เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าในโครงการนี้ ใช้หม้อแปลงแรงดันต่ำขนาด  $600/5 V_{rms}$  ขนาด 30 VA สำหรับตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ที่มีพิคกิ้ง  $0 - 400 V_{rms}$  ลักษณะของหม้อแปลงแสดงดังรูปที่ 3.4 การทดสอบความเที่ยงตรงของตัวตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า จะต่อวงจรสำหรับทดสอบตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.23 วงจรทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อต่อวงจรเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปรับค่าแรงดันไฟฟ้ายังผลจาก ค่าแรงดันต่ำสุด  $-270 V_{rms}$  และลดลงจาก  $270 V_{rms}$  - ค่าแรงดันต่ำสุด โดยปรับทีละ  $5 V_{rms}$  บันทึกแรงดันไฟฟ้าทุกค่าที่ทำการปรับและนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ โดยคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ดังสมการ (3-1) ซึ่งผลการ ทดสอบและค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ได้แสดงดังตารางที่ 3.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = (\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากการทดลอง}) / \text{ค่าจากการคำนวณ} \times 100 \text{ (3-1)}$$

ตารางที่ 3.1 ค่าการทดสอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ Voltage Sensor

แรงดันค่าน ปฐมภูมิ ( $V_{rms}$ )	แรงดันค่านทุติยภูมิ ( $V_{rms}$ )		เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (% error)	อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V1/V2 จากผลการทดลอง
	ผลทดลอง	ผลค่านวม		
2.184	0.021	0.018	14.835	104.4976
5	0.048	0.042	15.200	104.1667
10	0.097	0.083	16.400	103.0928
15	0.146	0.125	16.800	102.7397
20	0.195	0.167	17.000	102.5641
25	0.244	0.208	17.120	102.4590
30	0.293	0.250	17.200	102.3891
35	0.342	0.292	17.257	102.3392
40	0.392	0.333	17.600	102.0408
45	0.437	0.375	16.533	102.9748

แรงดันด้าน ปฐมภูมิ ( $V_{rms}$ )	แรงดันด้านทุติยภูมิ ( $V_{rms}$ )		เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (% error)	อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V1/V2 จากผลการทดลอง
	ผลทดลอง	ผลคำนวณ		
50	0.483	0.417	15.920	103.5197
55	0.534	0.458	16.509	102.9963
60	0.582	0.500	16.400	103.0928
65	0.631	0.542	16.492	103.0111
70	0.682	0.583	16.914	102.6393
75	0.729	0.625	16.640	102.8807
80	0.779	0.667	16.850	102.6958
85	0.827	0.708	16.753	102.7811
90	0.876	0.750	16.800	102.7397
95	0.925	0.792	16.842	102.7027
100	0.973	0.833	16.760	102.7749
105	1.022	0.875	16.800	102.7397
110	1.071	0.917	16.836	102.7077
115	1.120	0.958	16.870	102.6786
120	1.169	1.000	16.900	102.6518
125	1.218	1.042	16.928	102.6273
130	1.267	1.083	16.954	102.6046
135	1.316	1.125	16.978	102.5836
140	1.365	1.167	17.000	102.5641
145	1.413	1.208	16.938	102.6185
150	1.462	1.250	16.960	102.5992
155	1.511	1.292	16.981	102.5811
160	1.560	1.333	17.000	102.5641
165	1.609	1.375	17.018	102.5482
170	1.658	1.417	17.035	102.5332

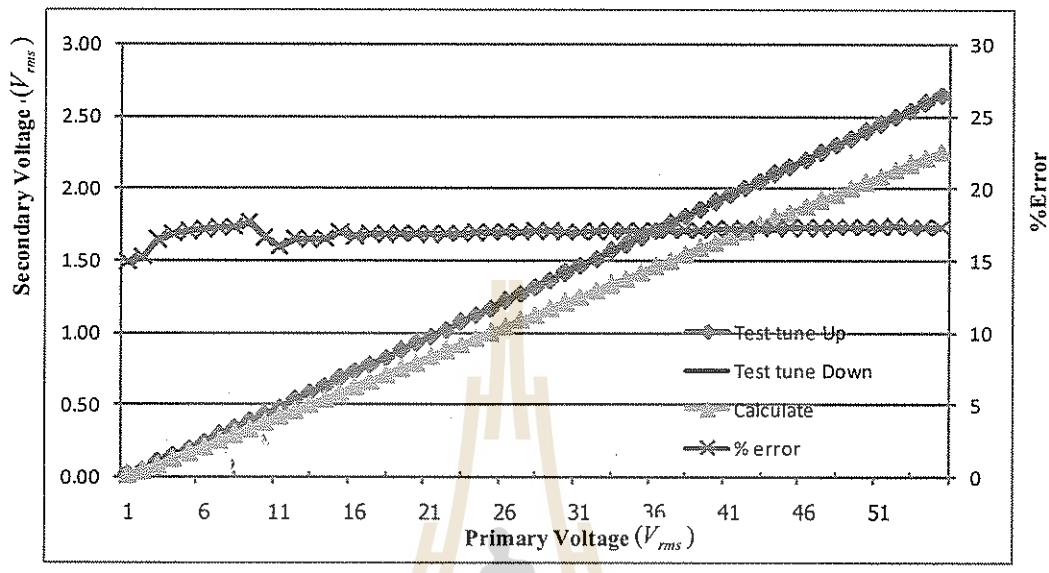
แรงดันด้าน ปฐมภูมิ ( $V_{rms}$ )	แรงดันด้านทุติยภูมิ ( $V_{rms}$ )		เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (% error)	อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V1/V2 จากผลการทดลอง
	ผลทดลอง	ผลคำนวณ		
175	1.707	1.458	17.051	102.5190
180	1.756	1.500	17.067	102.5057
185	1.805	1.542	17.081	102.4931
190	1.853	1.583	17.032	102.5364
195	1.904	1.625	17.169	102.4160
200	1.953	1.667	17.180	102.4066
205	2.001	1.708	17.132	102.4488
210	2.050	1.750	17.143	102.4390
215	2.099	1.792	17.153	102.4297
220	2.149	1.833	17.218	102.3732
225	2.198	1.875	17.227	102.3658
230	2.247	1.917	17.235	102.3587
235	2.296	1.958	17.243	102.3519
240	2.345	2.000	17.250	102.3454
245	2.395	2.042	17.306	102.2965
250	2.443	2.083	17.264	102.3332
255	2.493	2.125	17.318	102.2864
260	2.541	2.167	17.277	102.3219
265	2.590	2.208	17.283	102.3166
270	2.639	2.250	17.289	102.3115
265	2.59	2.208	17.283	102.3166
260	2.541	2.167	17.277	102.3219
255	2.493	2.125	17.318	102.2864
250	2.443	2.083	17.264	102.3332
245	2.394	2.042	17.257	102.3392

แรงดันด้าน ปฐมภูมิ ( $V_{rms}$ )	แรงดันด้านทุติยภูมิ ( $V_{rms}$ )		เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (% error)	อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V1/V2 จากผลการทดลอง
	ผลทดลอง	ผลคำนวณ		
240	2.345	2.000	17.250	102.3454
235	2.296	1.958	17.243	102.3519
230	2.247	1.917	17.235	102.3587
225	2.198	1.875	17.227	102.3658
220	2.148	1.833	17.164	102.4209
215	2.099	1.792	17.153	102.4297
210	2.050	1.750	17.143	102.4390
205	2.001	1.708	17.132	102.4488
200	1.953	1.667	17.180	102.4066
195	1.903	1.625	17.108	102.4698
190	1.854	1.583	17.095	102.4811
185	1.805	1.542	17.081	102.4931
180	1.756	1.500	17.067	102.5057
175	1.707	1.458	17.051	102.5190
170	1.658	1.417	17.035	102.5332
165	1.609	1.375	17.018	102.5482
160	1.560	1.333	17.000	102.5641
155	1.511	1.292	16.981	102.5811
150	1.462	1.250	16.960	102.5992
145	1.413	1.208	16.938	102.6185
140	1.365	1.167	17.000	102.5641
135	1.315	1.125	16.889	102.6616
130	1.267	1.083	16.954	102.6046
125	1.218	1.042	16.928	102.6273
120	1.169	1.000	16.900	102.6518

แรงดันด้าน ปฐมภูมิ ( $V_{rms}$ )	แรงดันด้านทุติยภูมิ ( $V_{rms}$ )		เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (% error)	อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V1/V2 จากผลการทดลอง
	ผลทดลอง	ผลคำนวณ		
115	1.120	0.958	16.870	102.6786
110	1.071	0.917	16.836	102.7077
105	1.022	0.875	16.800	102.7397
100	0.974	0.833	16.880	102.6694
95	0.925	0.792	16.842	102.7027
90	0.876	0.750	16.800	102.7397
85	0.827	0.708	16.753	102.7811
80	0.778	0.667	16.700	102.8278
75	0.729	0.625	16.640	102.8807
70	0.681	0.583	16.743	102.7900
65	0.631	0.542	16.492	103.0111
60	0.582	0.500	16.400	103.0928
55	0.533	0.458	16.291	103.1895
50	0.484	0.417	16.160	103.3058
45	0.436	0.375	16.267	103.2110
40	0.388	0.333	16.400	103.0928
35	0.342	0.292	17.257	102.3392
30	0.293	0.250	17.200	102.3891
25	0.244	0.208	17.120	102.4590
20	0.195	0.167	17.000	102.5641
15	0.146	0.125	16.800	102.7397
10	0.097	0.083	16.400	103.0928
5	0.048	0.042	15.200	104.1667
2.184	0.021	0.018	15.385	104.0000
เฉลี่ย			16.8927	102.6597

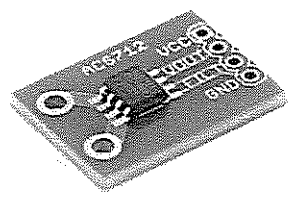


หมายเหตุ : ค่าจากการคำนวณของแรงดันด้านทุติยภูมิได้มาจากการนำค่าแรงดันด้านปฐมภูมิหารด้วยอัตราส่วนของหม้อแปลงโดยตรง (120:1)  $V_{rms}$

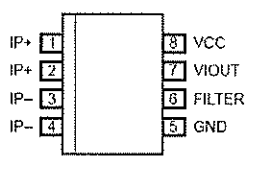


รูปที่ 3.24 ผลการทดสอบเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

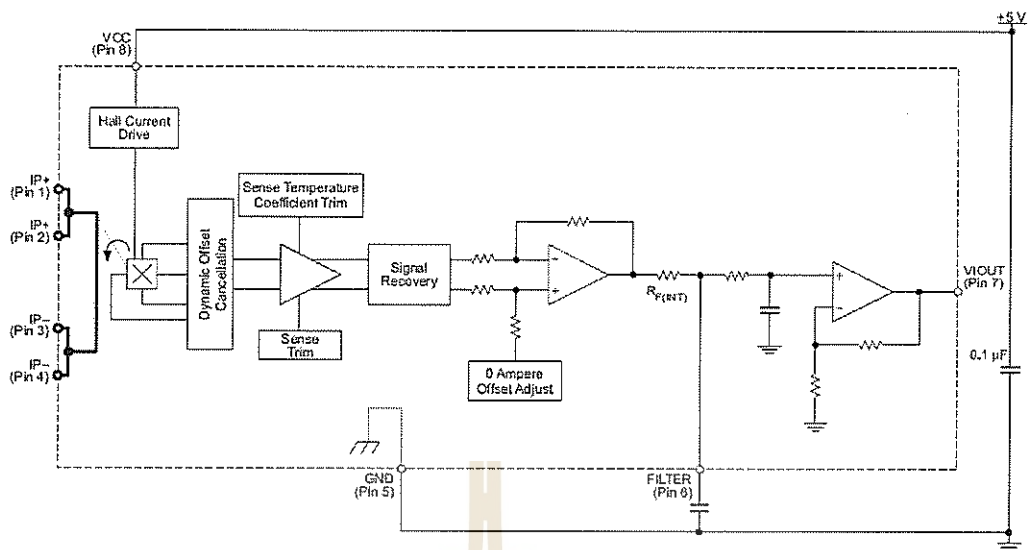
จากข้อมูลตารางที่ 3.1 และจากกราฟในรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงมีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าประมาณ 17% ดังนั้น จึงทำการกำจัดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน โดยการคำนวณ ค่าอัตราส่วนหม้อแปลงใหม่ทุกๆ ค่าการทดสอบหม้อแปลง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าอัตราส่วน แรงดันไฟฟ้า ของหม้อแปลง ( $V_1/V_2$ ) เท่ากับ 102.6597 ต่อ 1 หรือประมาณ 103 ต่อ 1 แล้วนำค่าที่ได้นี้ ไปใช้ในการปรับเทียบในโปรแกรมเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากหม้อแปลง



Pin-out Diagram

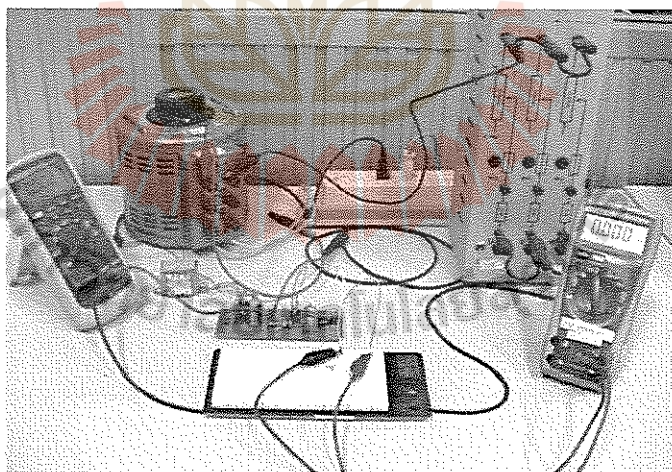


รูปที่ 3.25 โครงสร้างภายนอกของเซนเซอร์กระแส ASC-712



รูปที่ 3.26 แผนผังฟังก์ชันการทำงานภายในของ ACS-712

การทดสอบจะทำการวัดรูปสัญญาณเอาต์พุตจาก ACS-712 นำข้อมูลที่ได้ไปทำการออกแบบ และ เขียน โปรแกรมเพื่อแสดงค่าเป็นกระแสเฉลี่ย ทำการปรับแต่ง (Calibration) เซ็นเซอร์อีกครั้งเพื่อใช้งานจริง



รูปที่ 3.27 การทดสอบเซนเซอร์กระแส ACS-712

การทดสอบเพื่อวัดรูปคลื่นของสัญญาณจาก ACS-712 เมื่อป้อนโหลด ในการทดสอบใช้ โหลดแบบ ความต้านทานอย่างเดียวการทดสอบแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้



## (1) ผลการเปลี่ยนเอาต์พุตเมื่อจ่ายกระแสค่าต่างๆ

ดำเนินการทดสอบโดยใช้แหล่งกำเนิดแรงดันคงที่ที่  $220 V_{rms}$  จ่ายให้โหลดความต้านทานปรับค่าได้ และทำการปรับความต้านทานให้เปลี่ยนแปลงไป เพื่อดึงกระแสโหลดนี้ต่อให้ไหลผ่านเซ็นเซอร์วัดกระแสที่กำลังทดสอบ เพื่อตรวจสอบการตอบสนองของค่าแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง ถ้ากระแสที่โหลดเปลี่ยนแปลงผลการทดสอบได้ผลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. 2 ผลการวัดกระแสของ ACS-712 ที่กระแสอินพุตต่างๆ

ลำดับ	กระแสเป้าหมาย ( $A_{rms}$ )	กระแสที่ปรับได้ เพื่อจ่ายโหลดจริง ( $A_{rms}$ )	ค่าแรงดันเอาต์พุต ACS-712	
			แรงดัน DC(V)	แรงดัน AC P-P (V)
1	0	0.001	2.553	3.2
2	0.225	0.230	2.553	43.5
3	0.250	0.250	2.553	47.3
4	0.350	0.350	2.552	65.9
5	0.500	0.510	2.553	96.0
6	0.750	0.755	2.552	142.1
7	1.000	1.005	2.553	190
8	1.250	1.252	2.553	235.5
9	1.500	1.504	2.553	282.7
10	1.750	1.750	2.553	328.3
11	2.000	2.006	2.553 V	376.1
12	2.250	2.264	2.552 V	429
13	2.500	2.496	2.553 V	437
14	2.750	2.752	2.553 V	522
15	3.000	3.051	2.553 V	563

## (2) ผลการเปลี่ยนเอาต์พุตเมื่อจ่ายค่าแรงดันต่างๆ โดยคงปริมาณการจ่ายกระแสไว้

ทดสอบโดยการจ่ายกระแสปริมาณคงที่  $2 A_{rms}$  แล้วเปรียบเทียบเอาต์พุตที่แรงดันต่างๆ เพื่อ ทดสอบ ผลการวัดเมื่อแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงไป แล้วนำไปเปรียบเทียบกับกรณี (1) ซึ่งให้แรงดันคงที่ การทดสอบได้ผลดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการวัดกระแสของ ACS-712 เมื่อป้อนกระแสเป็น  $2 A_{rms}$  ที่แรงดันต่างๆ

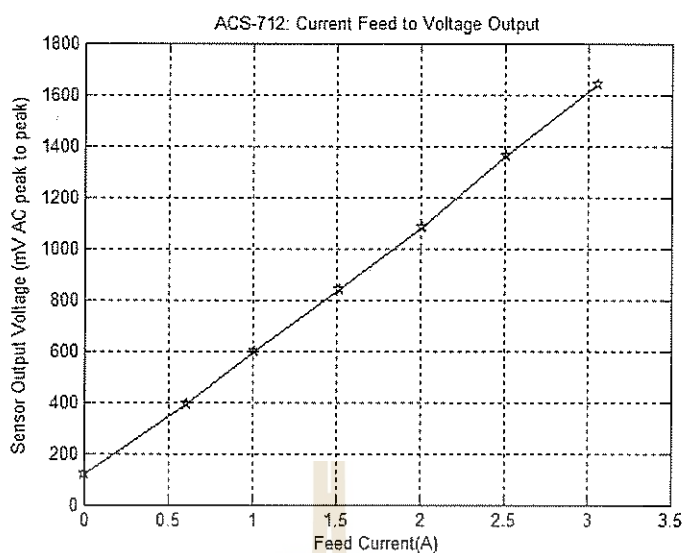
ลำดับ	แรงดันทดสอบ ( $V_{rms}$ )	ค่าแรงดันเอาต์พุต ACS-712	
		แรงดัน DC(V)	แรงดัน AC P-P(mV)
1	0	2.554	3.2
2	25	2.554	187.7
3	50	2.554	187.7
4	75	2.554	188.6
5	100	2.554	188.2
6	125	2.554	189.1
7	150	2.554	189.5
8	175	2.554	187.8
9	200	2.553	188.1
10	220	2.553	188.3
11	225	2.553	188.7
12	250	2.553	188.3
13	260	2.553	188.6

- (3) ผลการเปลี่ยนเอาต์พุต กรณีที่โหลดคงที่ เมื่อจ่ายกระแสค่าต่ำและปรับแรงดันค่าต่างๆ กัน

ทดสอบโดยการจ่ายค่ากระแสค่าที่ปริมาณต่างๆ โดยปรับค่าแรงดันที่ค่าต่างๆ กัน โดยให้ค่าความต้านทานของโหลดคงที่ เพื่อดูว่าที่กระแสค่าๆ แรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์มีการตอบสนองเป็นอย่างไร เหมือนหรือแตกต่างกับกรณี (1) และ (2) ซึ่งจากการทดสอบได้ผลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลการวัดกระแสของ ACS-712 ที่กระแสนินพุตต่างๆ

ลำดับ	กระแสที่จ่ายป้อน เซนเซอร์ ( $mA_{rms}$ )	แรงดันที่จ่าย ( $V_{rms}$ )	ค่าแรงดันเอาต์พุต ACS-712	
			แรงดัน DC(V)	แรงดัน AC P-P(V)
1	0.01	0	2.553	3.1
2	3.12	2.04	2.553	3.2
3	5.39	3.52	2.553	3.4
4	10.69	7.02	2.553	3.518
5	15.07	9.88	2.553	4.6
6	20.13	13.20	2.552	5.4
7	25.04	16.45	2.554	6.2
8	30.63	20.10	2.553 V	7.1 mV
9	35.03	23.00	2.554 V	7.9 mV
10	40.26	26.39	2.553 V	8.8 mV
11	45.13	29.59	2.553 V	9.6 mV
12	50.23	32.81	2.554 V	10.5 mV
13	55.05	36.03	2.554 V	11.4 mV
14	60.35	40.17	2.553 V	12.3 mV
15	65.4	43.1	2.554 V	13.2 mV
16	70.0	46.1	2.554 V	14.0 mV
17	75.5	49.7	2.553 V	15.0 mV
18	80.3	52.8	2.553 V	15.9 mV
19	85.1	56.0	2.553 V	16.8 mV
20	90.0	59.3	2.554 V	17.7 mV
21	95.2	62.7	2.553 V	18.6 mV
22	100.2	65.9	2.553 V	19.5 mV



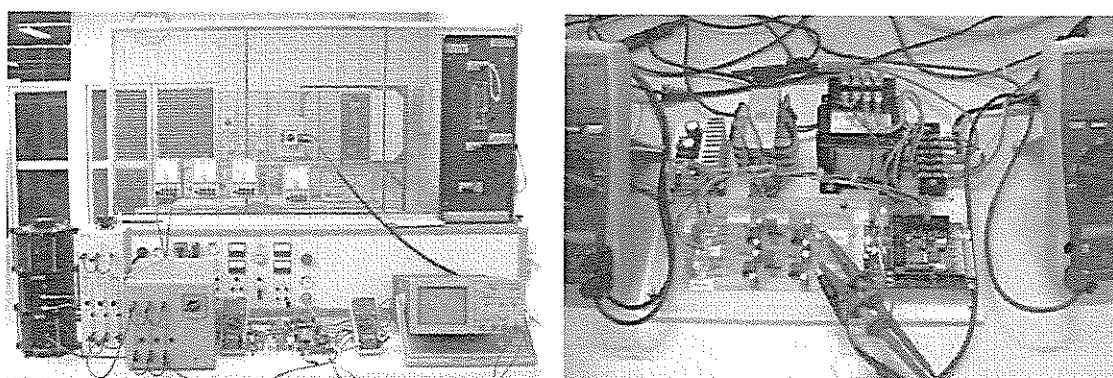
รูปที่ 3. 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนกับแรงดันเอาต์พุตจาก ACS-712

การทดสอบที่ (1), (2) และ (3) เป็นการทดสอบเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า เพื่อดูว่ามีคุณสมบัติ เป็นอย่างไร จากผลการทดสอบจะเห็นว่า ผลการวัดกระแสเป็นเส้นตรงโดยมีแรงดัน 2.55 V<sub>DC</sub> เป็นค่า DC Offset ค้างไว้อยู่เสมอ และการเปลี่ยนแรงดัน ไฟฟ้าขณะที่จ่ายกระแสค่าเดิม ไม่มีผลต่อแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุต

#### 3.1.4) การทดสอบ โปรแกรมคำนวณค่ากระแส จากแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุต

การทดสอบ โปรแกรมคำนวณค่ากระแสเพื่อปรับจูน (Calibration) การทำงานให้แสดงผลใน รูปของกระแสการทดสอบ โดยการวัดกระแสอ้างอิงเทียบกับผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นคำนวณหาสมการเพื่อเปลี่ยนแรงดันที่ได้เป็นกระแส

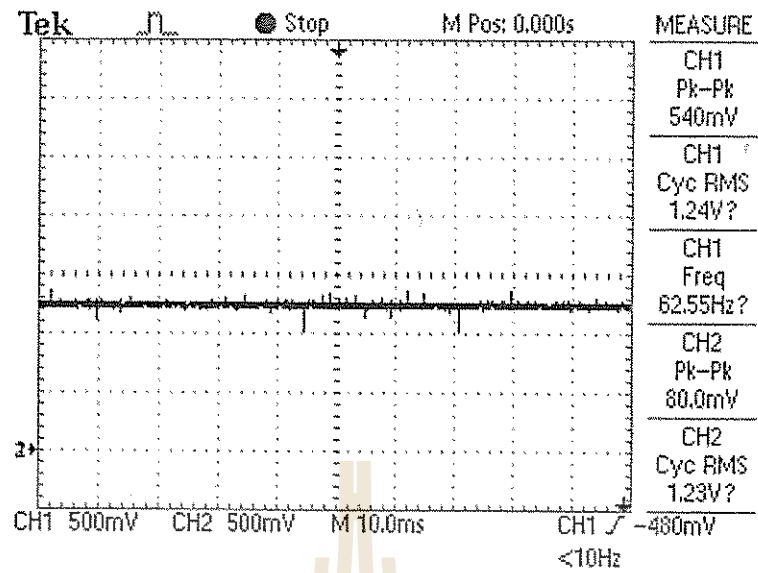
การทดสอบใช้โพลความต้านทานอย่างเดียว วัดกระแสอ้างอิงกับมิเตอร์ FLUKE รุ่น 87V ที่ค่า กระแสต่างๆ และวัดแรงดันอ้างอิงกับมิเตอร์ FLUKE รุ่น 79III ที่ค่ากระแสต่างๆ รูปที่ 3.12 การตั้งอุปกรณ์ เพื่อวัดและทดสอบการแปลงค่าแรงดันเป็นกระแส



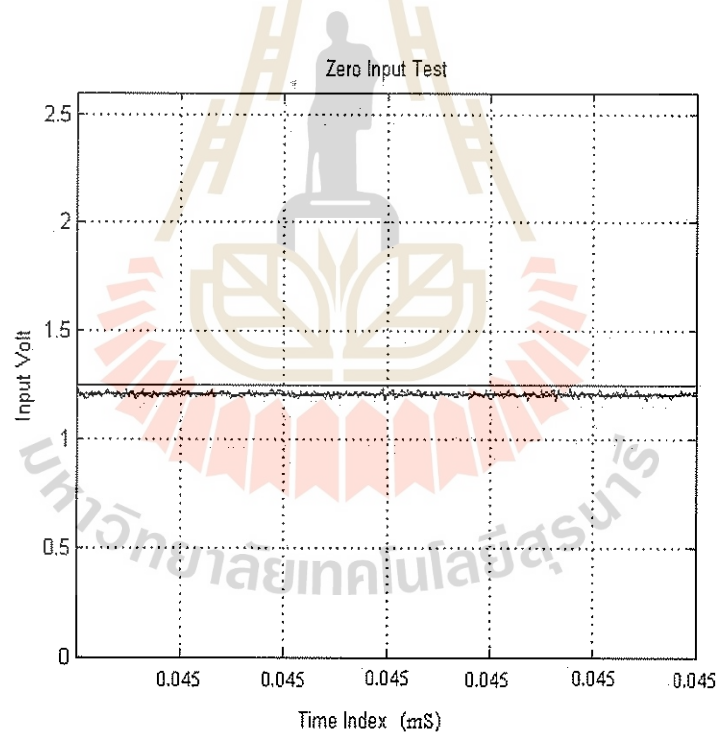
รูปที่ 3.29 อุปกรณ์เพื่อการวัดและทดสอบการแปลงค่าแรงดันเป็นกระแส

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

ลำดับ ที่	รายการทดสอบ	เงื่อนไข การทดสอบ	แรงดันป้อน ( $V_{rms}$ )	กระแสป้อน ( $A_{rms}$ )
0	แรงดันอ้างอิง	$0 V_{rms}, 0 A_{rms}$	0	0
1	โหลดความต้านทาน (ปรับค่าได้) ( $220\Omega$ )	$220 V_{rms}, 1 A_{rms}$	220.05	1.021
2	โหลดความต้านทาน (ปรับค่าได้) ( $110\Omega$ )	$220 V_{rms}, 2 A_{rms}$	245.6	2.482
3	โหลด RL อนุกรม ( $156\Omega, 3H$ )	$220 V_{rms}, 1 A_{rms}$	259.6	1.081
4	โหลด RL อนุกรม ( $46\Omega, 3H$ )	$220 V_{rms}, 2 A_{rms}$	246.0	1.999
5	โหลด RC ขนาน ( $220\Omega, 3300\mu F$ )	$220 V_{rms}, 1 A_{rms}$	251.5	1.024
6	โหลด RC ขนาน ( $110\Omega, 3300\mu F$ )	$220 V_{rms}, 2 A_{rms}$	246.5	2.011
7	โหลดวงจรเรียงกระแส	โหลด $0.5 A_{rms}$	100.2	0.511
8	โหลดวงจรเรียงกระแส	โหลด $1.0 A_{rms}$	99.58	1.038



(ก)

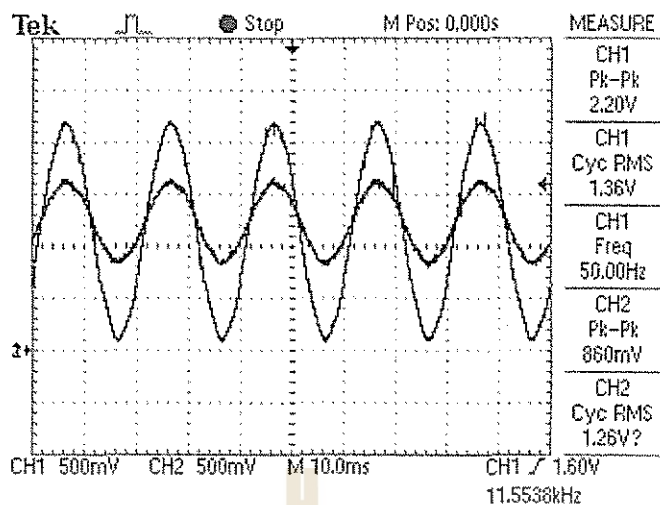


(ข)

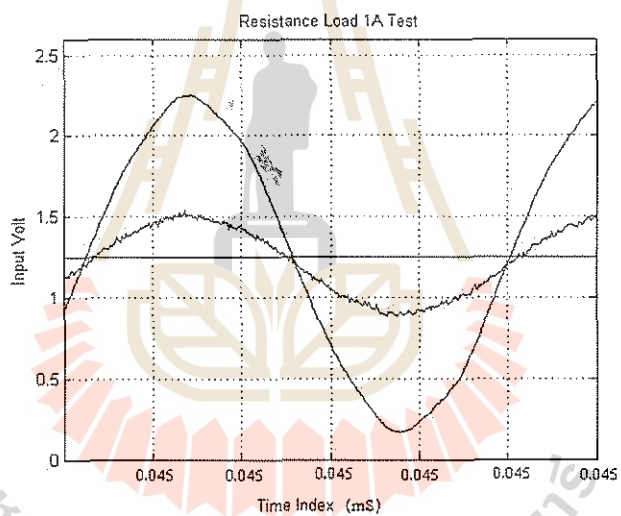
รูปที่ 3.30 การทดสอบลำดับที่ 0 ไม่มีโหลด ( $0 V_{rms}$ ,  $0 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลการคำนวณด้วยเมทแลป





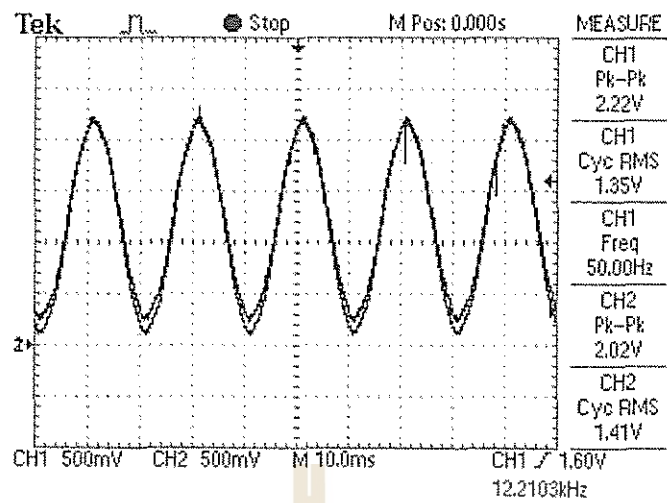
(ก)



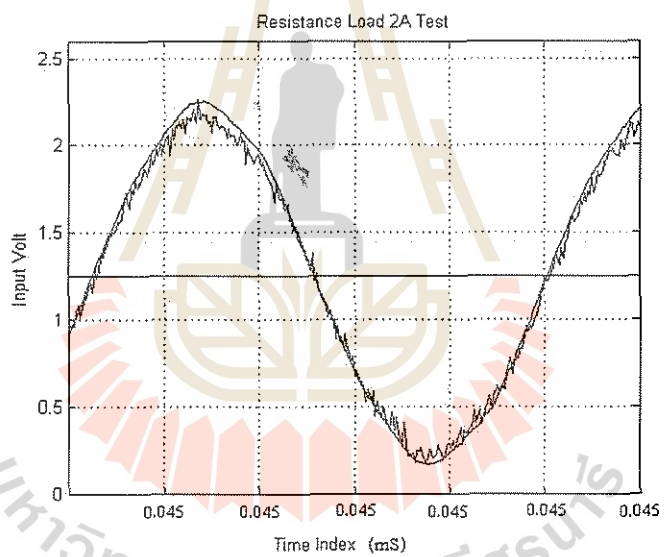
(ข)

รูปที่ 3.31 การทดสอบลำดับที่ 1 โหลดความต้านทาน( $220\Omega$ ) ( $220 V_{rms}$ ,  $1 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลคำนวณด้วยเมทแกลป



(ก)

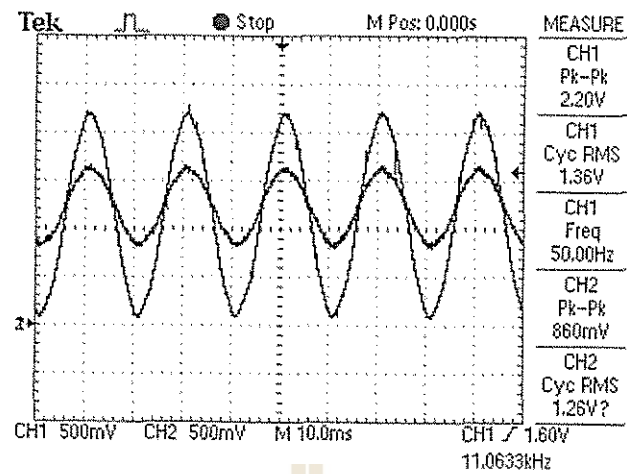


(ข)

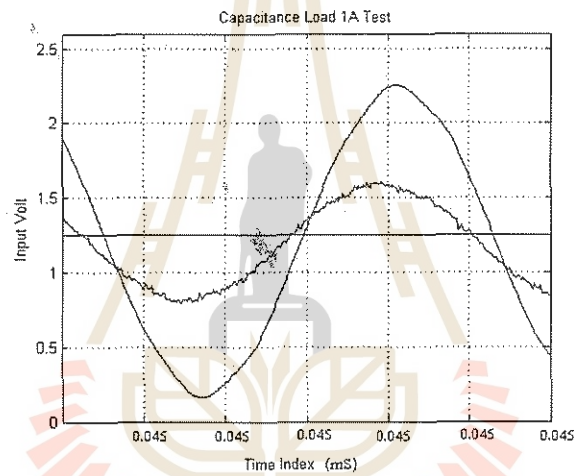
รูปที่ 3.32 การทดสอบลำดับที่ 2 โหลดความต้านทาน( $110\Omega$ ) ( $220 V_{rms}$ ,  $2 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลคำนวณด้วยเมทแลป





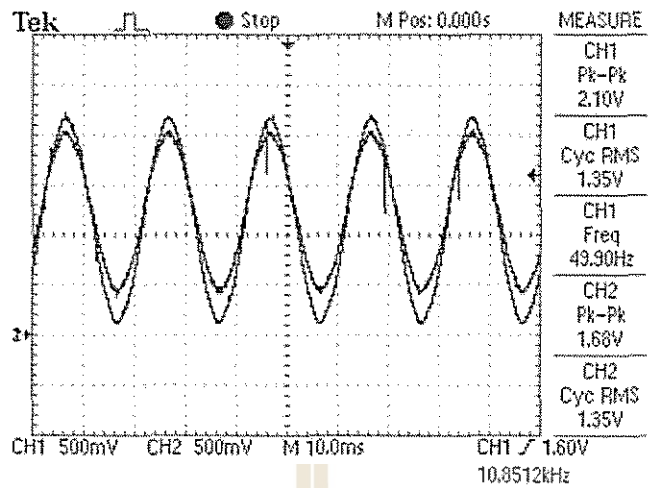
(ก)



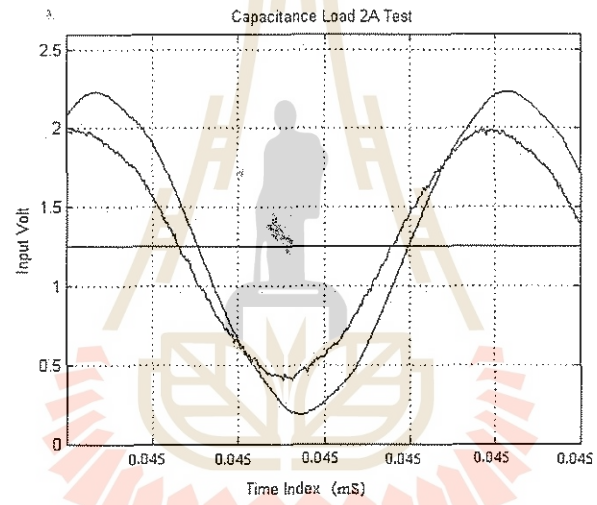
(ข)

รูปที่ 3.33 การทดสอบลำดับที่ 3 โหลด RC ขนาน ( $220\Omega, 3300\mu\text{F}$ ) ( $220 V_{rms}, 1 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลคำนวณด้วยเมทเทป



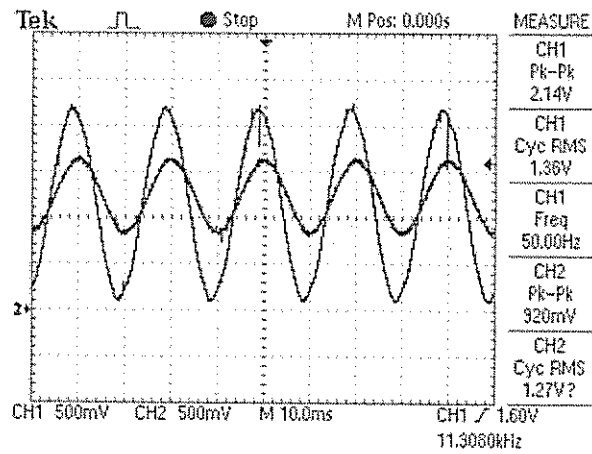
(ก)



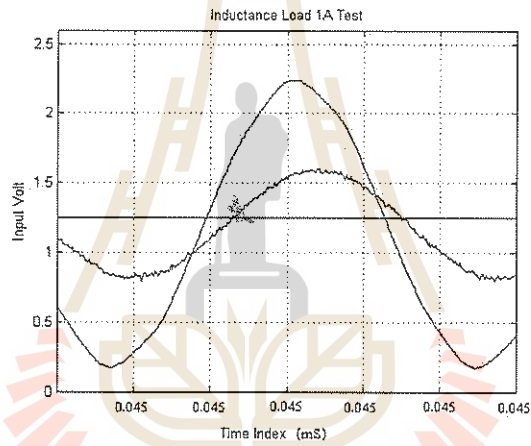
(ข)

รูปที่ 3.34 การทดสอบลำดับที่ 4 โหลด RC ขนาน( $110\Omega, 3300\mu F$ )( $220 V_{rms}, 2 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลการคำนวณด้วยเมทแลป



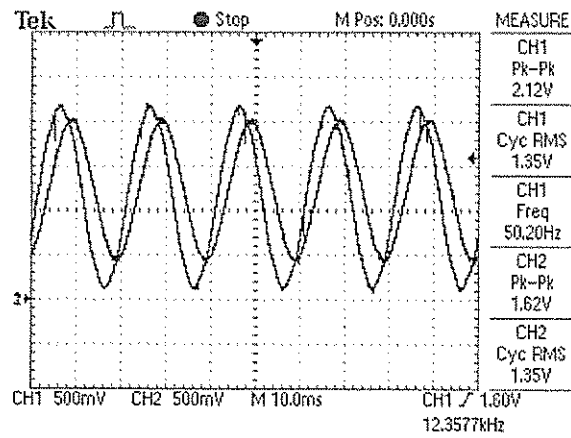
(ก)



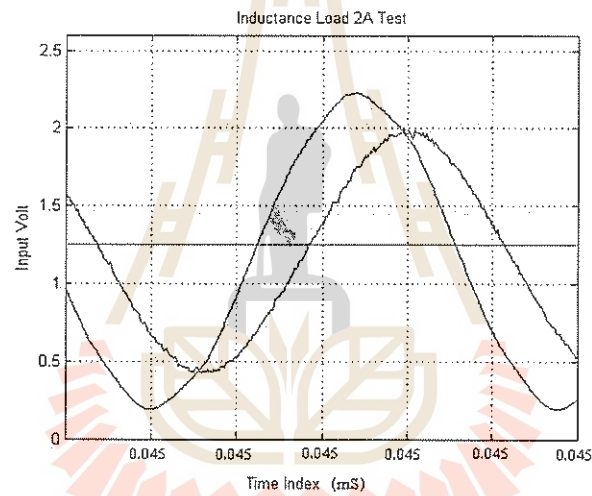
(ข)

รูปที่ 3.35 การทดสอบลำดับที่ 5 โหลด RL อนุกรม ( $208\Omega, 1\text{mH}$ ) ( $220 V_{rms}$ ,  $1 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลคำนวณด้วยแมทแลป



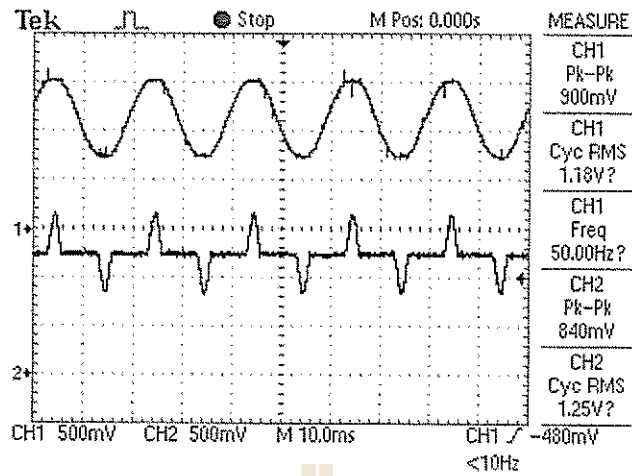
(ก)



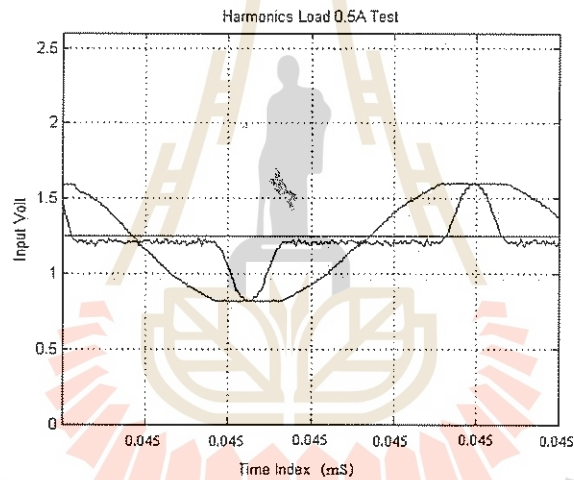
(ข)

รูปที่ 3.36 การทดสอบลำดับที่ 6 โหลด RL อนุกรม ( $220 V_{rms}$ ,  $2 A_{rms}$ )

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลการคำนวณด้วยเมทแลป



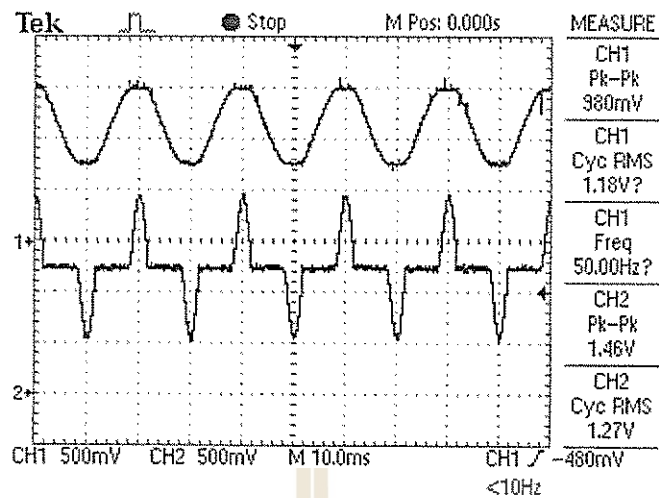
(ก)



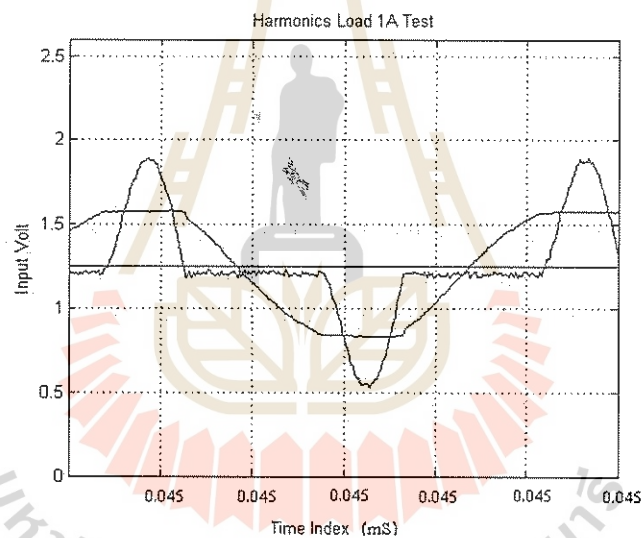
(ข)

รูปที่ 3.37 การทดสอบลำดับที่ 7 โหลดวงจรเรียงกระแส  $0.5 A_{rms}$

(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลการคำนวณแมทเพล



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.38 การทดสอบลำดับที่ 8 โหลดวงจรเรียงกระแส 1  $A_{rms}$

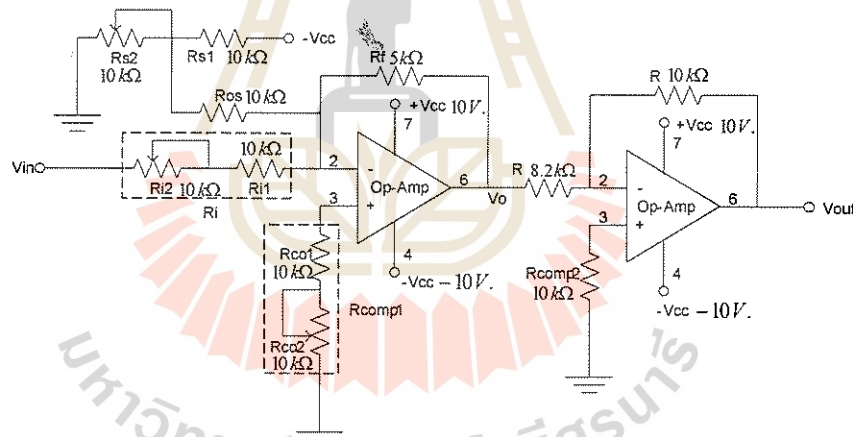
(ก) วัดได้จากสโคป (ข) ผลการคำนวณด้วยเมทแลป

หมายเหตุ : สำหรับ Code Program ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แนบไว้ในภาคผนวก ข

### 3.1.5 วงจรปรั้งแต่งสัญญาณ

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด ในย่านการวัดแรงดันไฟฟ้าของ โครงการนี้อยู่ในช่วง 0 ถึง  $400 V_{rms}$  ซึ่งทำให้เอาต์พุตที่ออกจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า อยู่ในช่วง 0 -  $3.33 V_{rms}$  (ค่ายอดแรงดันอยู่ในช่วง 0 - 4.714 V)

การออกแบบวงจรปรั้งแต่งสัญญาณ มีเงื่อนไขอยู่ 2 ประการ คือ ต้องทำการลดทอนสัญญาณ ให้มีค่ายอดแรงดันเท่ากับ 1.25 V (เมื่อพิจารณาจากยอดแรงดันทางซีกลบถึงค่ายอดแรงดันทางซีกบวกจะ มีค่าเท่า 2.5 V) ทั้งนี้เนื่องจากพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของ บอร์ด ARM7024 มีค่าเท่ากับ 2.5 V ด้วยเหตุนี้เอาต์พุตที่ได้จากวงจรปรั้งแต่งสัญญาณจึงไม่ควรเกิน 2.5 V และอีกเงื่อนไขหนึ่งของการออกแบบวงจรปรั้งแต่งสัญญาณ คือ ต้องทำการเลื่อนสัญญาณเอาต์พุตที่ ออกจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าให้มีแต่เฉพาะค่าบวกเท่านั้น เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็นดิจิทัลของบอร์ด ARM7024 ไม่สามารถรับค่าลบได้ และเพื่อเป็นการป้องกันบอร์ด ไม่ให้เกิดความเสียหายจึงต้องเลื่อนสัญญาณดังกล่าวให้มีแต่ค่าบวกเพียงอย่างเดียววงจรปรั้งแต่งสัญญาณที่ใช้ในโครงการนี้ แสดงไว้ในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.39 วงจรปรั้งแต่งสัญญาณที่ใช้ในโครงการ

จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่าเป็นวงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ (inverting amplify) ที่ใช้ออปแอมป์สองชุด โดยในชุดแรกเป็นวงจรสำหรับปรับค่าแรงดันให้เหมาะสมตามที่ต้องการของบอร์ด ARM7024 ซึ่ง ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรนี้ ( $V_{out}$ ) มีเครื่องหมายเป็นลบ เพราะฉะนั้นวงจรในชุดที่สองจึงเป็นวงจรขยาย กลับขั้วสัญญาณที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรปรั้งแต่งสัญญาณ ( $V_{out}$ ) มีค่า เป็นบวก ค่า  $V_{CC}$  ในวงจรมีค่าเท่ากับ 15 V ส่วน  $V_{in}$  คือ ค่า

แรงดันอินพุตของวงจรปรั้งแต่งสัญญาณที่รับ มาจากค่าแรงดันเอาต์พุตของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าในย่าน  $\pm 3.33$  V

เมื่อป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรปรั้งแต่งสัญญาณดังรูปที่ 3.20 โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ป้อนให้กับวงจรเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า รูปสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{out}$ ) ของวงจรปรั้งแต่งสัญญาณจะได้ ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก และมีค่าไม่เกิน 2.5 V ซึ่งตรงกับ

ความต้องการในการออกแบบวงจรปรั้งแต่งสัญญาณ โดยรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรปรั้งแต่ง สัญญาณนี้ จะถูกส่งเข้าบอร์ด ARM7024

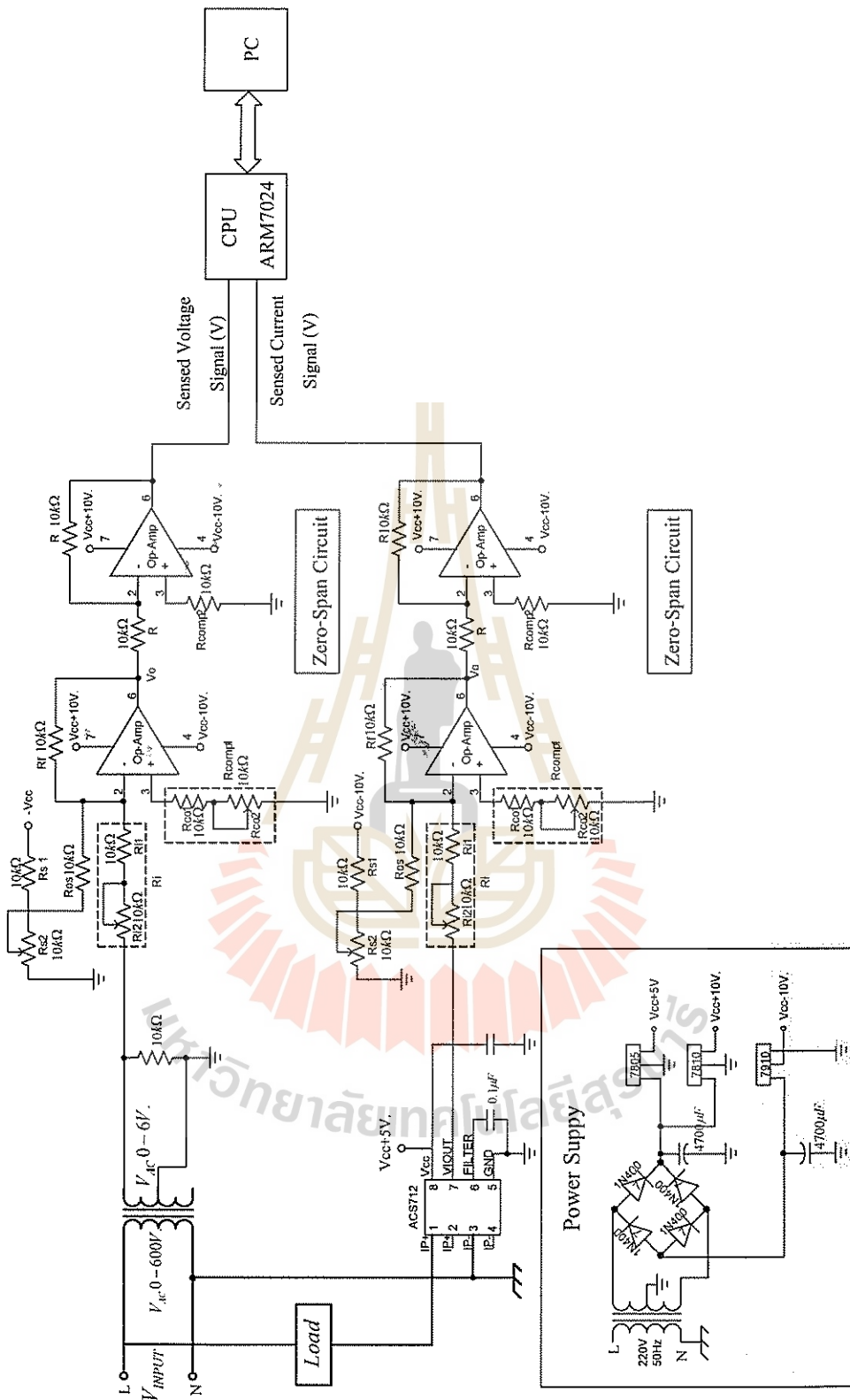
### 3.1.6 บอร์ด ARM7024 ([www.es.co.th/Schematic/PDF/ET-BASE-ARM7024](http://www.es.co.th/Schematic/PDF/ET-BASE-ARM7024))

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM7 เลือกใช้เบอร์ ADUC7024 ของบริษัท ANALOG DEVICE เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยมีจุดเด่นก็คือ มี A TOD ขนาด 12 BIT จำนวน 10 ช่อง และ D TO A ขนาด 12 BIT 2 ช่อง ออกแบบเป็นบอร์ดขนาดมาตรฐาน ET-BASE สามารถนำไปใช้งานอิสระ ใช้ MCU เบอร์ ADUC7024 ขนาด 64 PIN LQFP TYPE มีหน่วยความจำแบบ FLASH 62KBYTE, RAM 8KBYTE A TO D ขนาด 12 BIT 10 ช่อง ( 0 - 2.5V ) D TO A ขนาด 12 BIT 2 ช่อง ( 0 - 2.5V ) I/O PIN สามารถต่อกับ I/O ระดับสัญญาณ 5V ได้ RUN X TAL 32.768KHz สามารถกำหนดการทำงานร่วมกับ PHASE LOCK LOOP ให้สามารถทำงานได้ถึง 41.78MHz ได้ 3 PORT I/O 10 PIN ETRS232 PORT จำนวน 1 ช่อง 20 PIN ขั้วต่อ ARM - JTAG 14 PIN LCD PORT แบบ CHARACTER TYPE TIMER/COUNTER , SPI , 16 BIT PWM , WATCHDOG ใช้ POWER SUPPLY 5 VDC (สามารถใช้กับชุด POWER SUPPLY แบบ ET-SWITCHING ADAPTER 5V 1.2A TYPE H) ขนาด PCB 6.2 x 8.1 cm.สามารถ DOWNLOAD โปรแกรมเข้าหน่วยความจำภายในแบบ FLASH ได้โดยตรงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ พีซี ผ่านทาง RS232 PORT ร่วมกับโปรแกรม ARMWSD ทำงานได้บน WINDOWS 98/ME/XP/2000 เพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไป

### 3.1.7 วงจรทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

วงจรทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส จะเป็นวงจรควบคุมและแสดงผลการทำงานการวัดค่าแรงดัน ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า





รูปที่ 3.40 วงจรทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

### 3.2 การดำเนินงานทางด้านซอฟต์แวร์ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

#### 3.2.1 โปรแกรมสำหรับทดสอบความถูกต้องในการคำนวณค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า

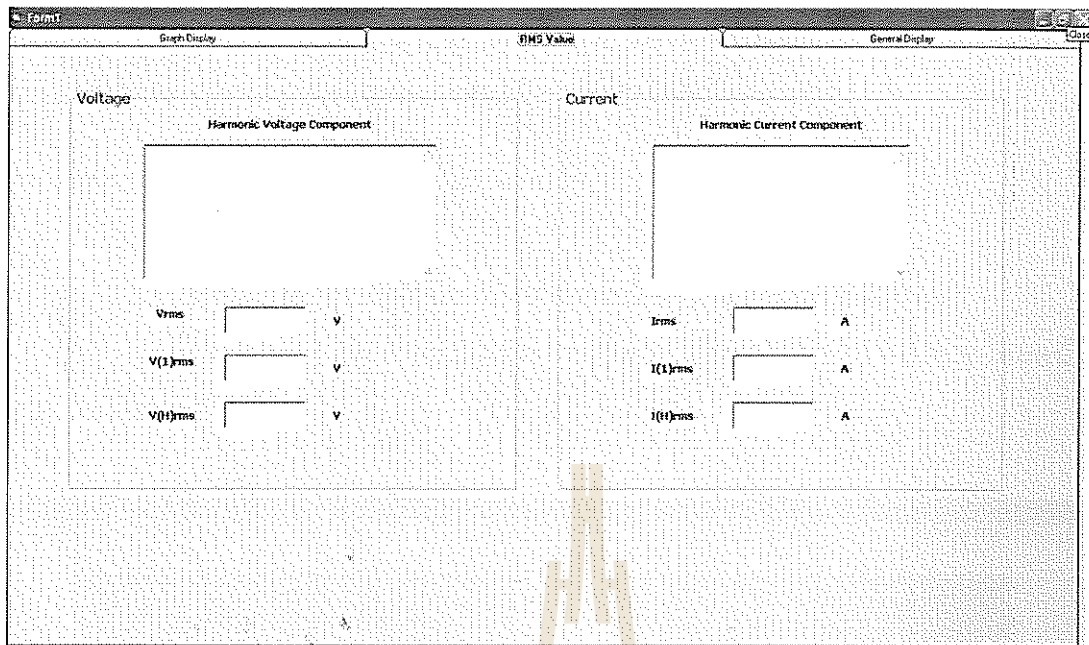
โปรแกรมการคำนวณและแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ใน ส่วนแรกได้ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการทดสอบค่าความถูกต้องของโปรแกรมก่อน โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 โดยเราสามารถกำหนดสัญญาณทางไฟฟ้าของแรงดันและกระแสไฟฟ้า 1 เฟสได้เอง ทั้ง แบบสัญญาณบิตเบี้ยวและไม่บิตเบี้ยว ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เปรียบเทียบกับ โปรแกรมได้ว่าถูกต้องหรือไม่

หน้าต่างของ โปรแกรมแสดงผลการคำนวณได้ออกแบบไว้ 3 หน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.22 – 3.24



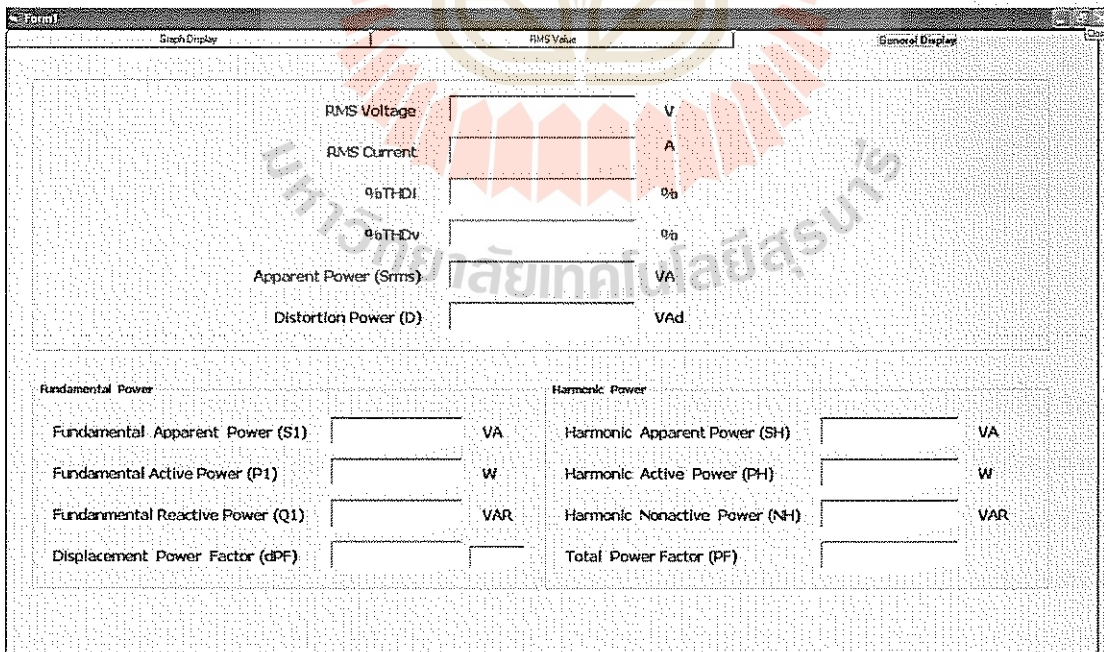
รูปที่ 3.41 หน้าต่างแรกของโปรแกรมแสดงผลด้วยกราฟ

สำหรับหน้าต่างแรกนี้ จะแสดงรูปกราฟสัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ทำการสร้างขึ้นมา ซึ่งจะแสดงได้ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ โดยการสร้างสัญญาณสามารถกำหนดความถี่ได้ถึง 2500 Hz (ถึงฮาร์โมนิกอันดับที่ 50) และกำหนดแรงดันและกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด  $400 V_{rms}$  ( $565 V_p$ ) และ  $3.5 A_{rms}$  ( $5 A_p$ ) อีกทั้งยังสามารถกำหนด การเลื่อนเฟส (Phase Shift) ของสัญญาณได้ด้วย



รูปที่ 3.42 หน้าต่างที่ 2 ของโปรแกรม (RMS Value)

สำหรับหน้าต่างที่ 2 นี้ จะสามารถแสดงค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณได้ว่า แต่ละฮาร์โมนิกมีค่า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ายังผลเป็นเท่าไร



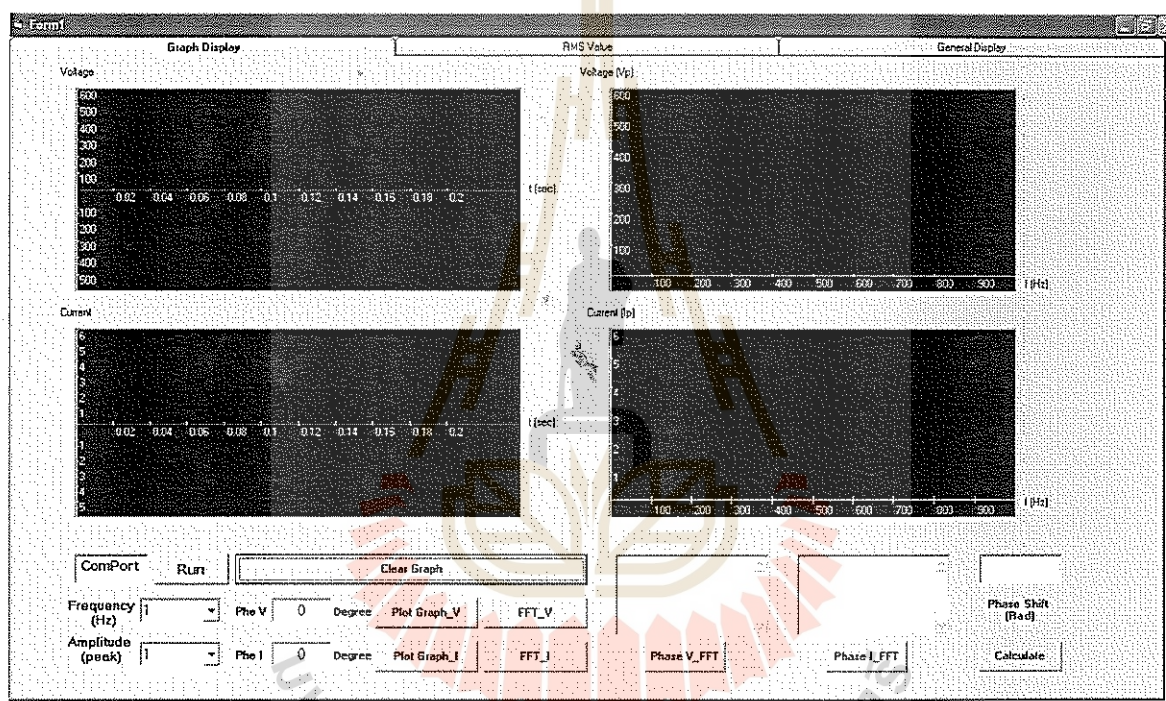
รูปที่ 3.43 หน้าต่างที่ 3 ของโปรแกรม (General Display)

สำหรับหน้าต่างที่ 3 จะแสดงค่าทางกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของสัญญาณไฟฟ้า กระแสสลับแบบ 1 เฟส รวมทั้งแสดงค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องทราบ

หมายเหตุ: Code โปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

### 3.2.2 โปรแกรมสำหรับใช้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์เพื่อคำนวณค่าแบบ Real Time

หน้าต่างของโปรแกรมแสดงผลการคำนวณได้ออกแบบไว้ 3 หน้าต่าง โดยหน้าต่างแรกแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.44 หน้าต่างที่ 1 ของโปรแกรมแสดงผลด้วยกราฟ

สำหรับหน้าต่างแรกนี้ จะเหมือนกับโปรแกรมทดสอบ แต่จะเพิ่มในส่วนที่เป็น Serial Interrupt (RS232) เข้ามา (แสดงกรอบไว้ในรูปที่ 3.25) สามารถเลือก Computer Port ได้เลย เพื่อให้โปรแกรม สามารถติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้ เพื่อทำการส่งค่าแรงดันและกระแสมาที่โปรแกรม Visual Basic ผ่าน RS232 มา Port USB เพื่อเก็บสัญญาณทางไฟฟ้าไปคำนวณค่าต่างๆ ต่อไป โดยความเร็วที่ส่งแต่ละจุดตั้งไว้ที่ 12 kHz โดยประมาณ ซึ่ง 1 คาบของสัญญาณ 50 Hz มีจำนวนจุดในการสุ่มสัญญาณ 240 จุด (การปรับความละเอียดของการสุ่มสัญญาณขึ้นกับความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์)

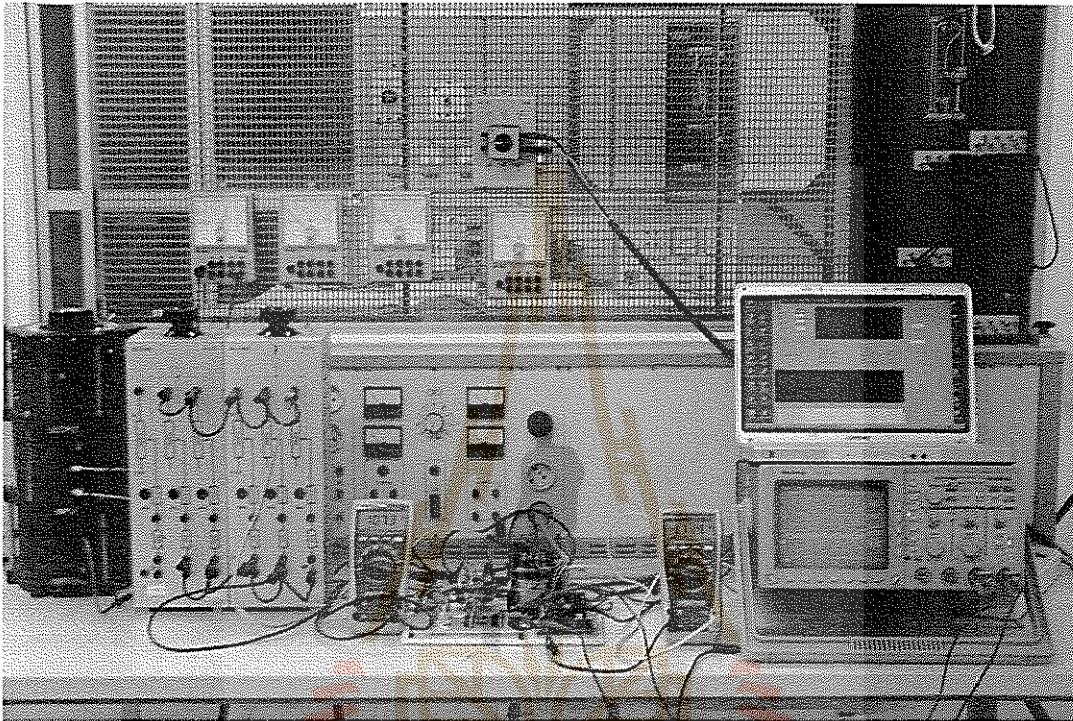


ส่วนหน้าต่างที่ 2 และหน้าต่างที่ 3 ของโปรแกรมสำหรับใช้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์เพื่อ  
คำนวณค่าแบบ Real Time จะเหมือนกันกับโปรแกรมสำหรับทดสอบความถูกต้อง ซึ่งได้แสดงไว้  
แล้วในรูปที่ 3.23 และรูป ที่ 3.24



## บทที่ 4

### การวัดผลการทดลองและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 4.19 การทดสอบวงจรวัดกำลังไฟฟ้า

#### 4.1 ตัวอย่างการทดสอบโปรแกรม

ตัวอย่างการทดสอบโปรแกรมจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้

4.1.1 การทดสอบในกรณีที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยวและไม่มีการเลื่อนเฟส

กำหนด  $v(t) = 311.127 \cos \omega t$  V

$$i(t) = 2.828 \cos \omega t \quad \text{A}$$

ซึ่ง  $\omega = 2\pi f$ ,  $f = 50\text{Hz}$

ผลจากการคำนวณ

$$V_{rms} = \frac{311.127}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$$

$$V(I)_{rms} = 220 \text{ V}$$

$$V(H)_{rms} = 0 \text{ V}$$

$$\%THD_v = 0 \%$$

$$I_{rms} = \frac{2.828}{\sqrt{2}} = 2 \text{ A}$$

$$I(I)_{rms} = 2 \text{ A}$$

$$I(H)_{rms} = 0 \text{ A}$$

$$\%THD_i = 0 \%$$

Apparent Power

$$S_{rms} = V_{rms} \times I_{rms} = (220)(2) = 440 \text{ VA}$$

Fundamental power

$$S(I)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} = (220)(2) = 440 \text{ VA}$$

$$P(I)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \cos\theta_1 = 440(\cos 0) = 440 \text{ W}$$

$$Q(I)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \sin\theta_1 = 440(\sin 0) = 0 \text{ VAR}$$

$$dPF = \cos\theta_1 = 1$$

Harmonic power

$$S(H)_{rms} = (V_H \times I_H)_{rms} = (0)(0) = 0 \text{ VA}$$

$$P(H)_{rms} = 0 \text{ W}$$

$$Q(H)_{rms} = 0 \text{ VAR}$$

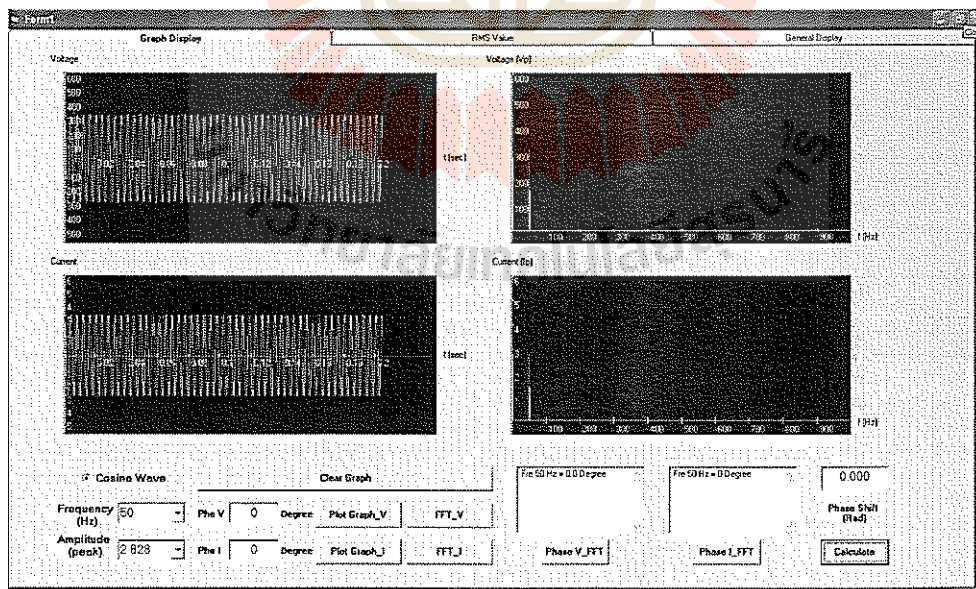
$$PF = \frac{P(1)_{rms} + P(H)_{rms}}{S_{rms}} = 1$$

Distortion Power

$$Q = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2} = 0 \text{ VA}$$

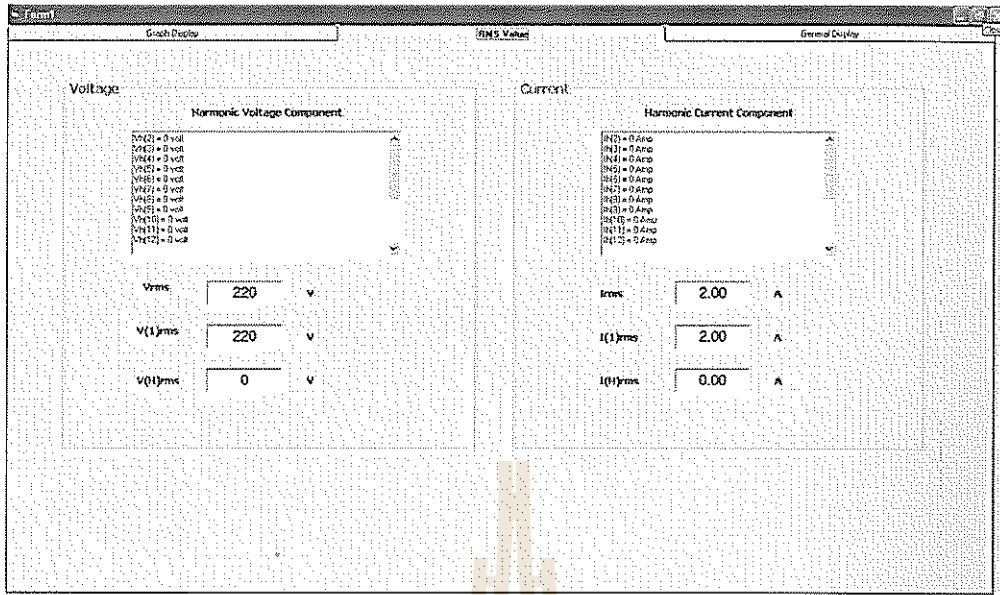
$$D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} = 0 \text{ VAd}$$

ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

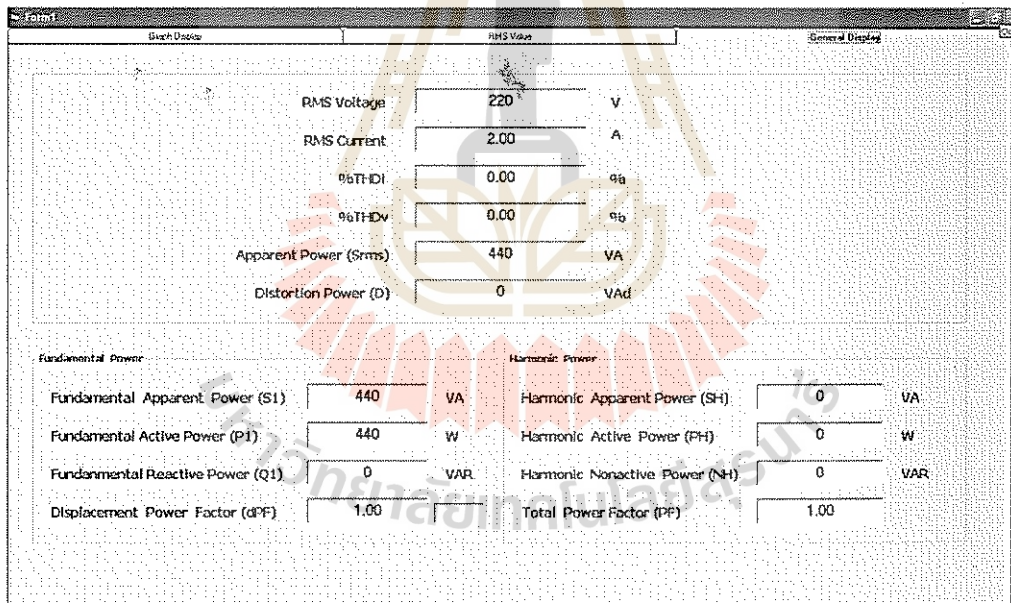


(ก)





(ข)



(ค)

รูปที่ 4. 20 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยวและไม่มีการเลื่อนเฟส

(ก) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display

#### 4.1.2 การทดสอบในกรณีที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยว แต่มีการเลื่อนเฟสของกระแส

กำหนด  $v(t) = 311.127 \cos \omega t$  V

$i(t) = 2.828 \cos(\omega t + 45^\circ)$  A

ผลจากการคำนวณ

$$V_{rms} = \frac{311.127}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$$

$$V(1)_{rms} = 220 \text{ V}$$

$$V(H)_{rms} = 0 \text{ V}$$

$$\%THD_v = 0 \%$$

$$I_{rms} = \frac{2.828}{\sqrt{2}} = 2 \text{ A}$$

$$I(1)_{rms} = 2 \text{ A}$$

$$I(H)_{rms} = 0 \text{ A}$$

$$\%THD_i = 0 \%$$

Apparent Power

$$S_{rms} = V_{rms} \times I_{rms} = (220)(2) = 440 \text{ VA}$$

Fundamental power

$$S(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} = (220)(2) = 440 \quad \text{VA}$$

$$P(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \cos\theta_1 = 440(\cos(-45^\circ)) = 311 \quad \text{W}$$

$$Q(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \sin\theta_1 = 440(\sin(-45^\circ)) = -311 \quad \text{VAR}$$

$$dPF = \cos\theta_1 = 0.707 \text{ (Leading)}$$

Harmonic power

$$S(H)_{rms} = (V_H \times I_H)_{rms} = (0)(0) = 0 \quad \text{VA}$$

$$P(H)_{rms} = 0 \quad \text{W}$$

$$Q(H)_{rms} = 0 \quad \text{VAR}$$

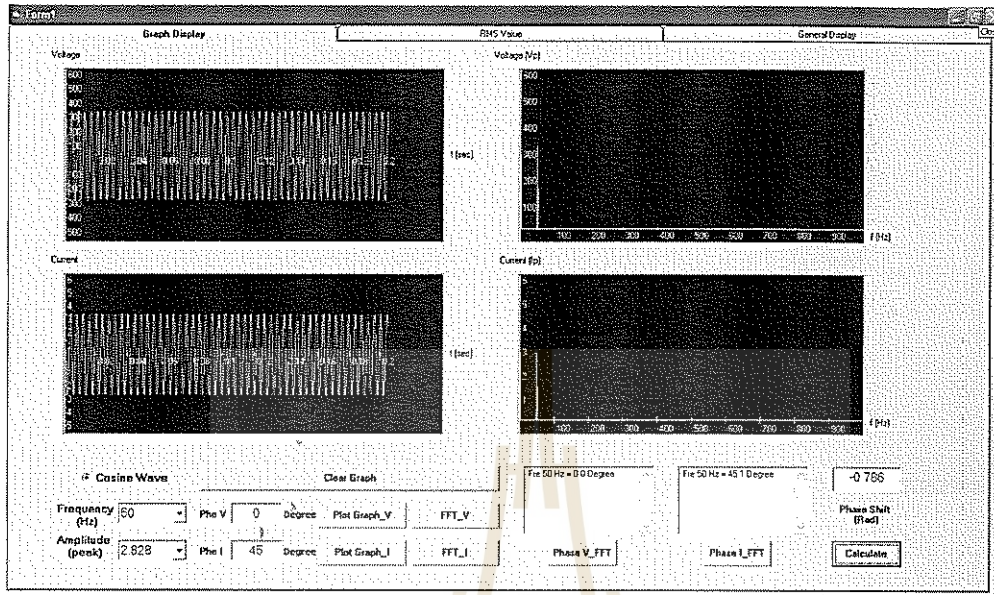
$$PF = \frac{P(1)_{rms} + P(H)_{rms}}{S_{rms}} = 0.707$$

Distortion Power

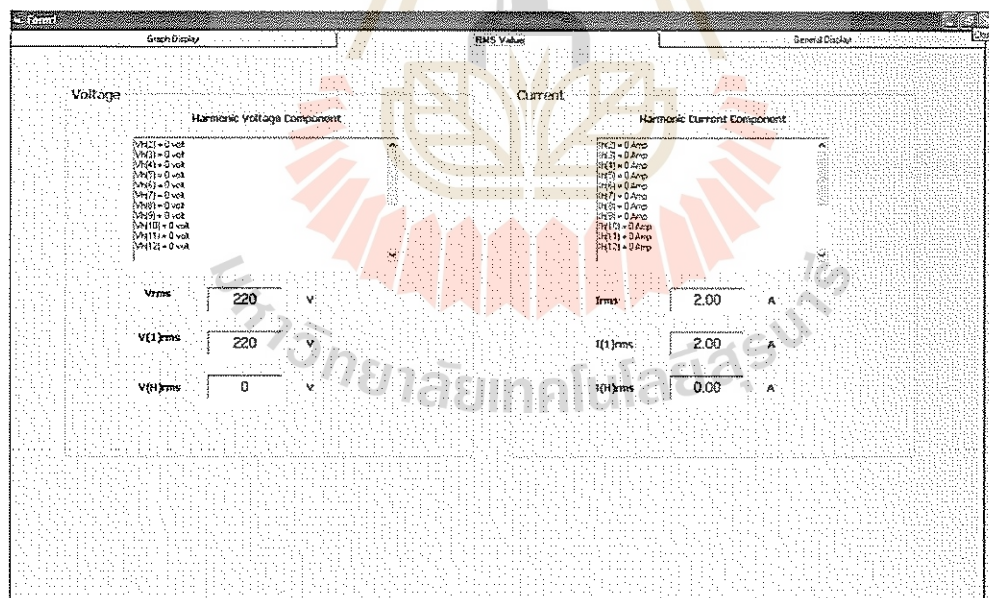
$$Q = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2} = 0 \text{ VA}$$

$$D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2 - Q_1^2} = 0 \text{ VAd}$$

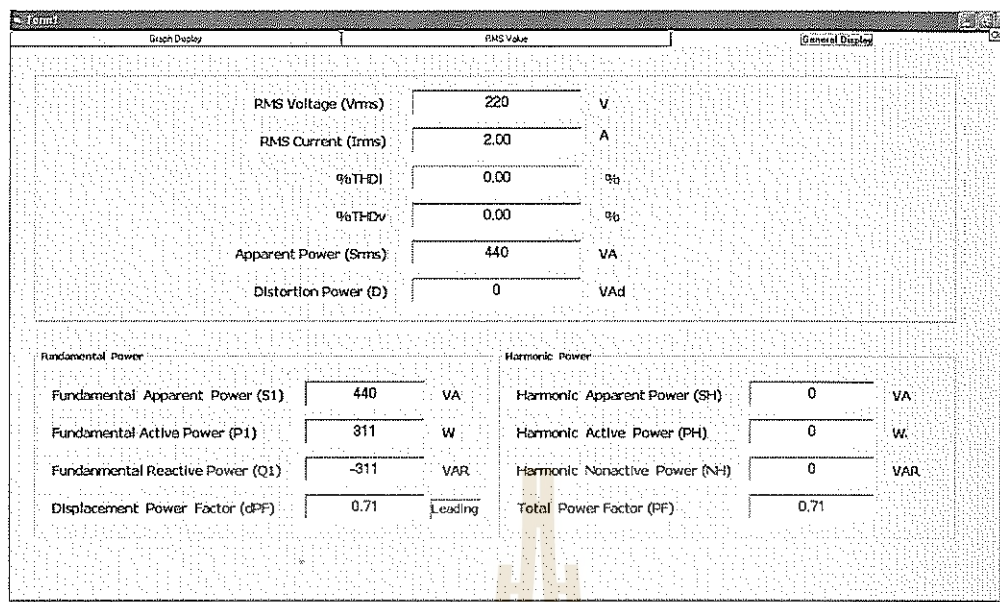
ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4. 21 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยว แต่มีการเลื่อนเฟสของกระแส

(ก) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display

#### 4.1.3 การทดสอบในกรณีที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยว แต่มีการเลื่อนเฟสของแรงดัน

กำหนด  $v(t) = 311.127 \cos(\omega t + 45^\circ) \text{ V}$

$$i(t) = 2.828 \cos \omega t \text{ A}$$

ผลจากการคำนวณ

$$V_{rms} = \frac{311.127}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$$

$$V(1)_{rms} = 220 \text{ V}$$

$$V(H)_{rms} = 0 \text{ V}$$

$$\%THD_V = 0 \%$$

$$I_{rms} = \frac{2.828}{\sqrt{2}} = 2 \text{ A}$$

$$I(1)_{rms} = 2 \text{ A}$$

$$I(H)_{rms} = 0 \text{ A}$$

$$\%THD_i = 0 \%$$

Apparent Power

$$S_{rms} = V_{rms} \times I_{rms} = (220)(2) = 440 \text{ VA}$$

Fundamental power

$$S(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} = (220)(2) = 440 \text{ VA}$$

$$P(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \cos\theta_1 = 440(\cos(45^\circ)) = 311 \text{ W}$$

$$Q(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \sin\theta_1 = 440(\sin(45^\circ)) = 311 \text{ VAR}$$

$$dPF = \cos\theta_1 = 0.707 \quad (\text{Lagging})$$

Harmonic power

$$S(H)_{rms} = (V_H \times I_H)_{rms} = (0)(0) = 0 \text{ VA}$$

$$P(H)_{rms} = 0 \text{ W}$$



$$Q(H)_{rms} = 0 \text{ VAR}$$

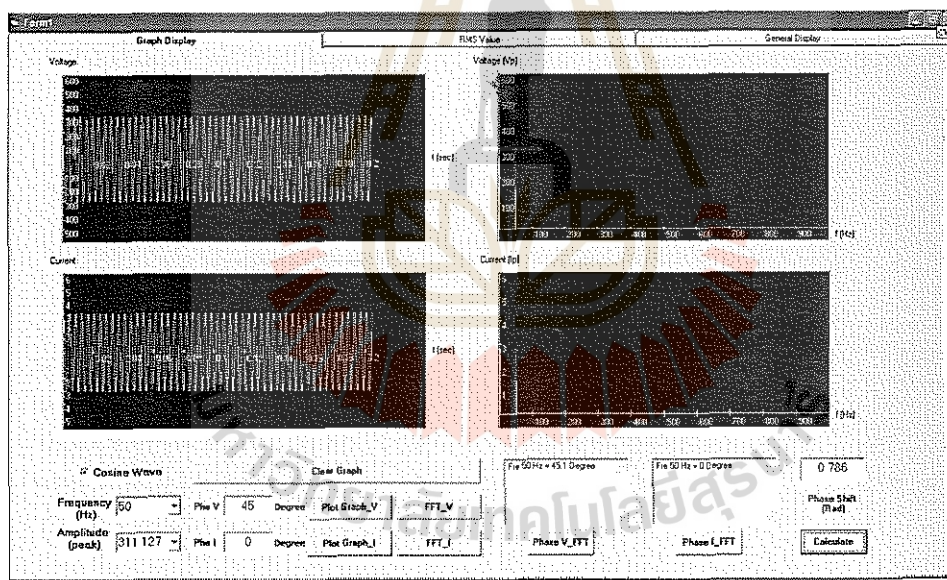
$$PF = \frac{P(I)_{rms} + P(H)_{rms}}{S_{rms}} = 0.707$$

Distortion Power

$$Q = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2} = 0 \text{ VA}$$

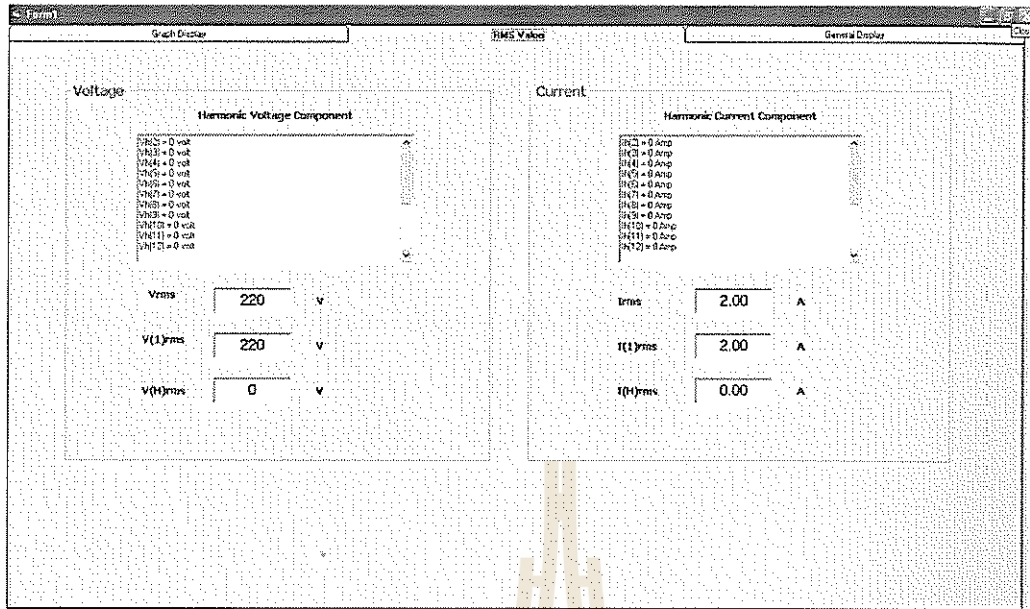
$$D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2 - Q_1^2} = 0 \text{ VAd}$$

ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

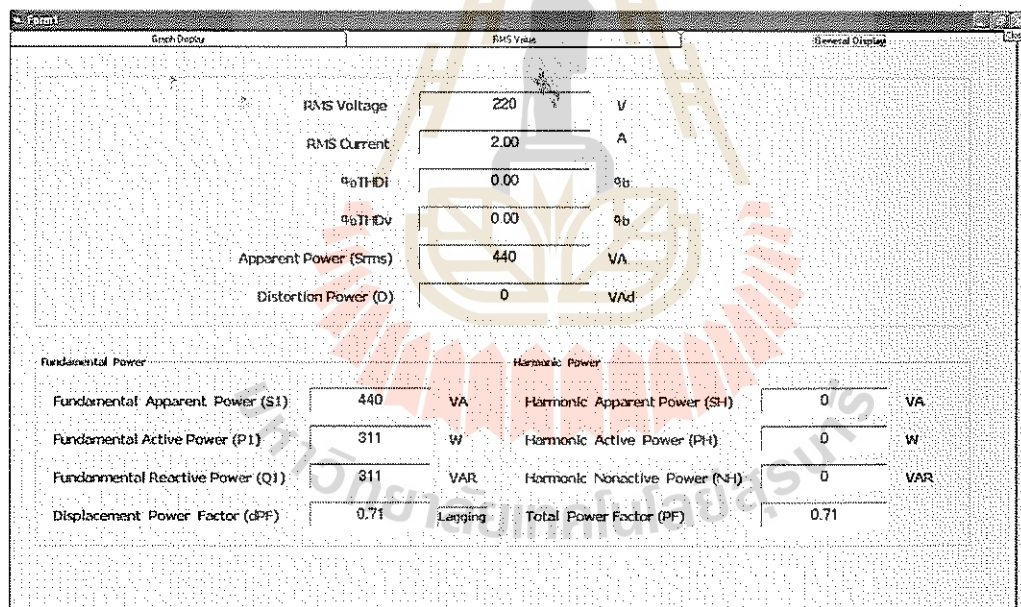


(ก)





(ข)



(ค)

รูปที่ 4.22 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีแรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่บิดเบี้ยวแต่มีการเลื่อนเฟสของแรงดัน (ก) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display

4.1.4 การทดสอบในกรณีที่แรงดันไม่มีการบิดเบี้ยว แต่ให้กระแสมีการบิดเบี้ยว และ สัญญาณทั้งสองไม่มีการเลื่อนเฟส

กำหนด  $v(t) = 311.127 \cos \omega t$  V

$$i(t) = 4.242 \cos \omega t + 2.828 \cos \omega_1 t + 1.414 \cos \omega_2 t \text{ A}$$

ซึ่ง  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $f_1 = 150 \text{ Hz}$  และ  $f_2 = 250 \text{ Hz}$

ผลจากการคำนวณ

$$V_{rms} = \frac{311.127}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$$

$$V(1)_{rms} = 220 \text{ V}$$

$$V(H)_{rms} = 0 \text{ V}$$

$$\%THD_v = 0 \%$$

$$I_{rms} = \sqrt{\left(\frac{4.242}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2.828}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1.414}{\sqrt{2}}\right)^2} = 3.74 \text{ A}$$

$$I(1)_{rms} = \frac{4.242}{\sqrt{2}} = 3 \text{ A}$$

$$I(H)_{rms} = \sqrt{\left(\frac{2.828}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1.414}{\sqrt{2}}\right)^2} = 2.23 \text{ A}$$

$$\%THD_i = \frac{I(H)_{rms}}{I(1)_{rms}} \times 100 = \frac{2.23}{3} \times 100 = 74.33 \%$$

Apparent Power

$$S_{rms} = V_{rms} \times I_{rms} = (220)(3.74) = 822.8 \text{ VA}$$

Fundamental power

$$S(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} = (220)(3) = 660 \text{ VA}$$

$$P(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \cos \theta_1 = 660(\cos(0^\circ)) = 660 \text{ W}$$

$$Q(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \sin \theta_1 = 660(\sin(0^\circ)) = 0 \text{ VAR}$$

$$dPF = \cos \theta_1 = 1$$

Harmonic power

$$S(H)_{rms} = (V_H \times I_H)_{rms} = (0)(0) = 0 \text{ VA}$$

$$P(H)_{rms} = 0 \text{ W}$$

$$Q(H)_{rms} = 0 \text{ VAR}$$

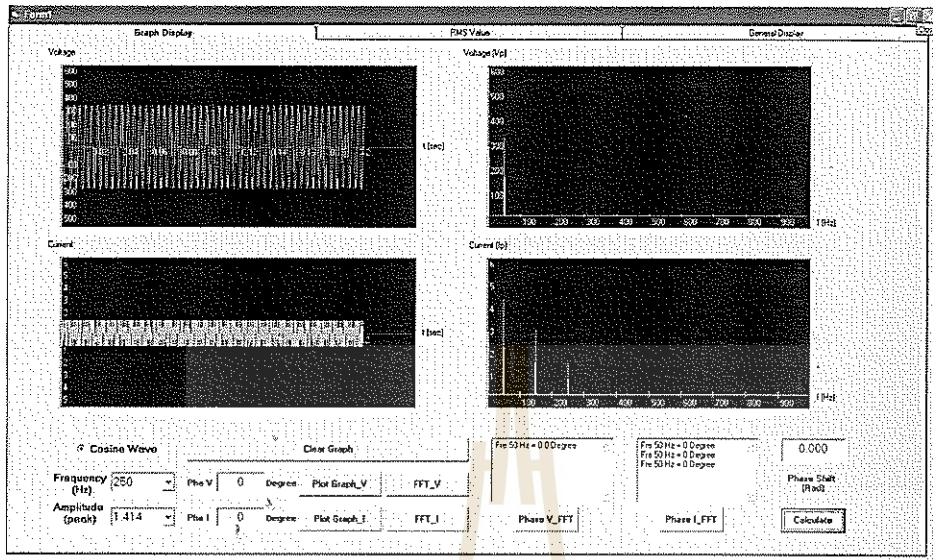
$$PF = \frac{P(1)_{rms} + P(H)_{rms}}{S_{rms}} = 0.802$$

Distortion Power

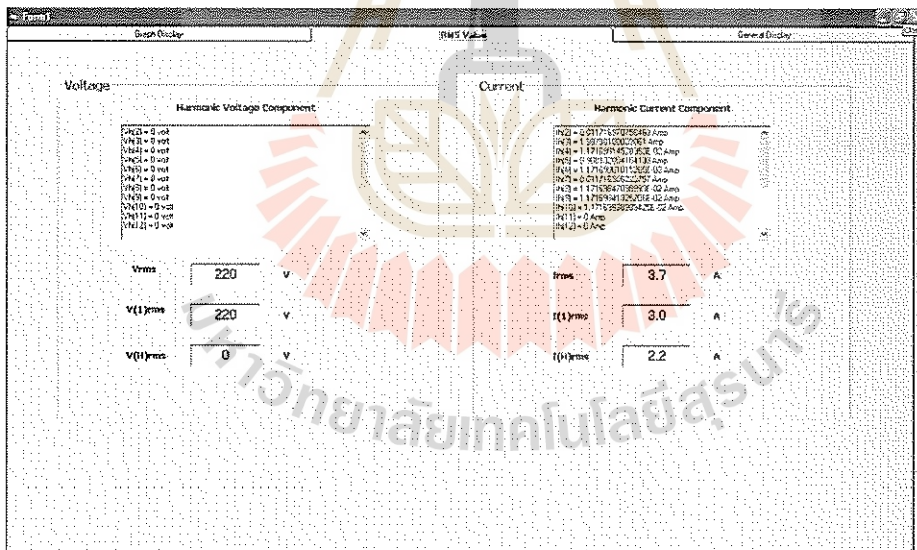
$$Q = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2} = 0 \text{ VA}$$

$$D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2 - Q_1^2} = 491.3 \text{ VAd}$$

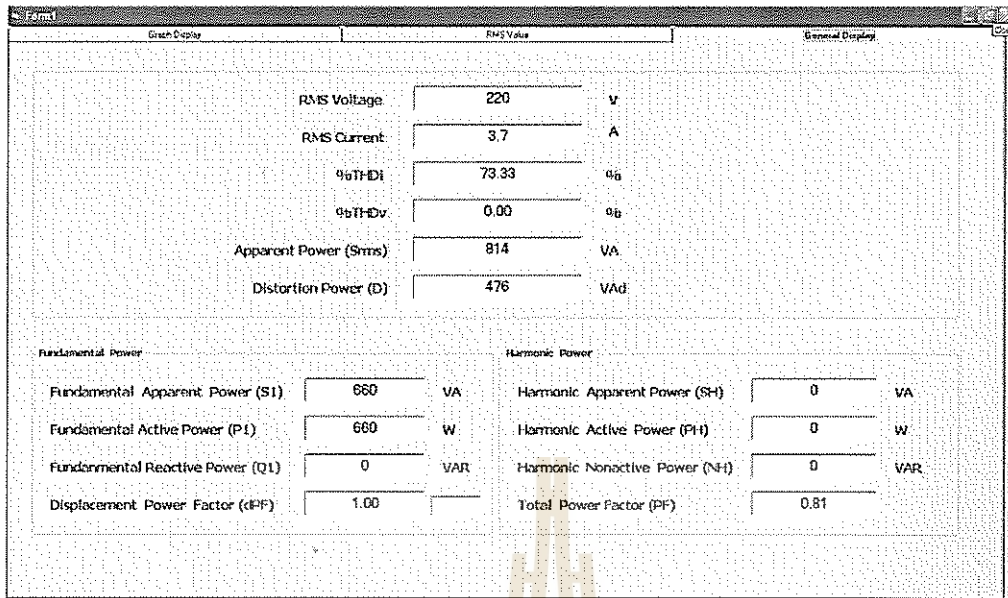
ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม



(ก)



(ข)



(ก)

รูปที่ 4.23 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในกรณีแรงดันไม่บิดเบี้ยว แต่กระแสไฟฟ้าบิดเบี้ยวและไม่มีการเลื่อนเฟส (ก) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display

4.1.5 การทดสอบในกรณีที่แรงดันไม่มีการบิดเบี้ยวแต่ให้กระแสมีการบิดเบี้ยวและสัญญาณของกระแสมีการเลื่อนเฟส

$$\text{กำหนด } v(t) = 311.127 \cos \omega t \quad \text{V}$$

$$i(t) = 4.242 \cos(\omega t + 30^\circ) + 1.414 \cos \omega_1 t \quad \text{A}$$

ซึ่ง  $f = 50\text{Hz}$  และ  $f_1 = 150\text{Hz}$

ผลจากการคำนวณ

$$V_{rms} = \frac{311.127}{\sqrt{2}} = 220 \quad \text{V}$$

$$V(1)_{rms} = 220 \quad \text{V}$$

$$V(H)_{rms} = 0 \text{ V}$$

$$\%THD_v = 0 \%$$

$$I_{rms} = \sqrt{\left(\frac{4.242}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1.414}{\sqrt{2}}\right)^2} = 3.2 \text{ A}$$

$$I(1)_{rms} = \frac{4.242}{\sqrt{2}} = 3 \text{ A}$$

$$I(H)_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1.414}{\sqrt{2}}\right)^2} = 1 \text{ A}$$

$$\%THD_i = \frac{I(H)_{rms}}{I(1)_{rms}} \times 100 = \frac{1}{3} \times 100 = 33.33 \%$$

Apparent Power

$$S_{rms} = V_{rms} \times I_{rms} = (220)(3.2) = 704 \text{ VA}$$

Fundamental power

$$S(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} = (220)(3) = 660 \text{ VA}$$

$$P(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \cos\theta_1 = 660(\cos(-30^\circ)) = 571.5 \text{ W}$$

$$Q(1)_{rms} = (V_1 \times I_1)_{rms} \sin\theta_1 = 660(\sin(-30^\circ)) = -330 \text{ VAR}$$

$$dPF = \cos\theta_1 = 0.87 \quad (\text{Leading})$$

Harmonic power

$$S(H)_{rms} = (V_H \times I_H)_{rms} = (0)(1) = 0 \text{ VA}$$

$$P(H)_{rms} = 0 \text{ W}$$

$$Q(H)_{rms} = 0 \text{ VAR}$$

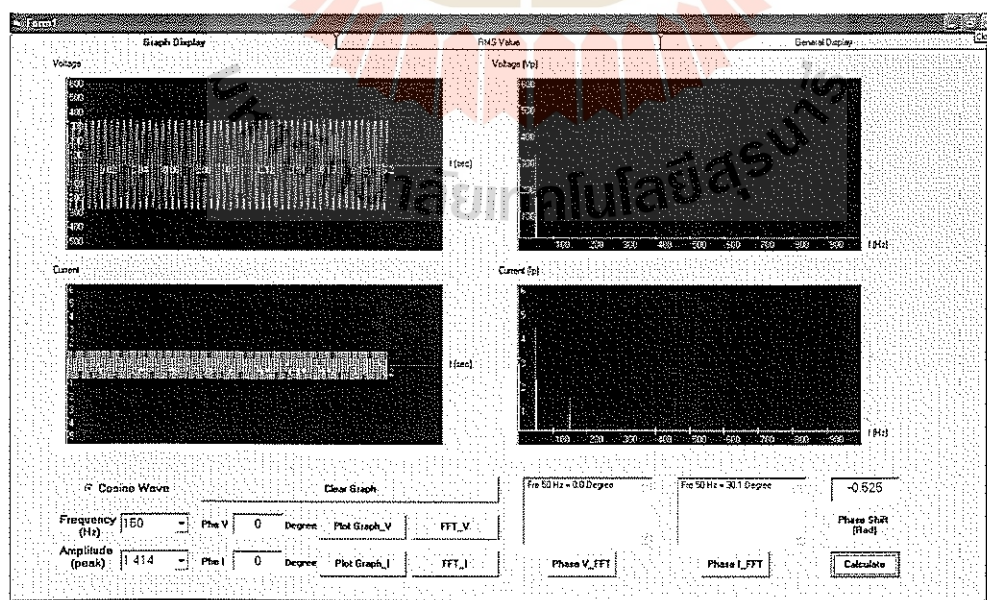
$$PF = \frac{P(1)_{rms} + P(H)_{rms}}{S_{rms}} = 0.81$$

Distortion Power

$$Q = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2} = 0 \text{ VA}$$

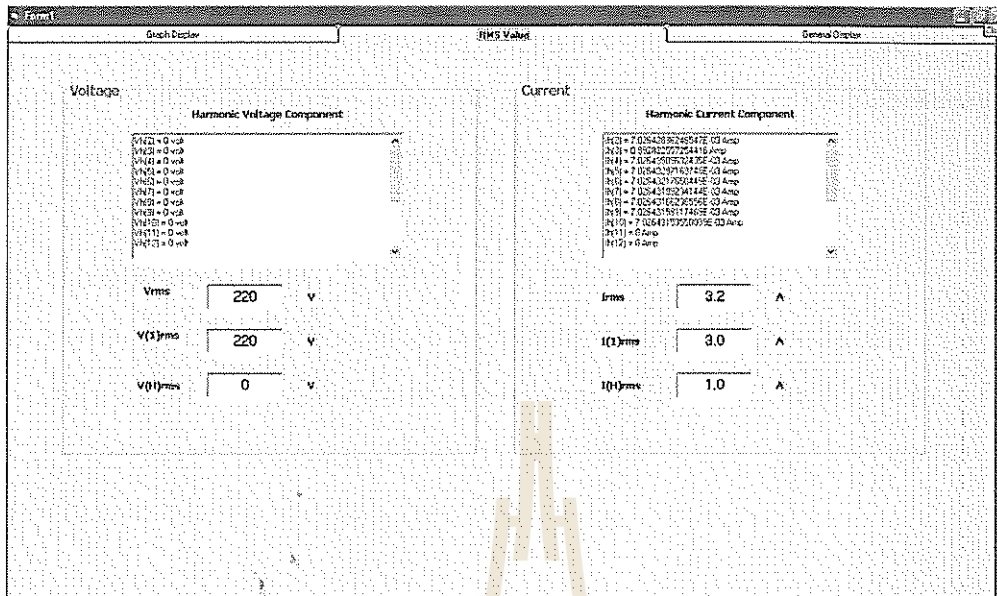
$$D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2} = \sqrt{S_{rms}^2 - P_1^2 - Q_1^2} = 245 \text{ VAd}$$

ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

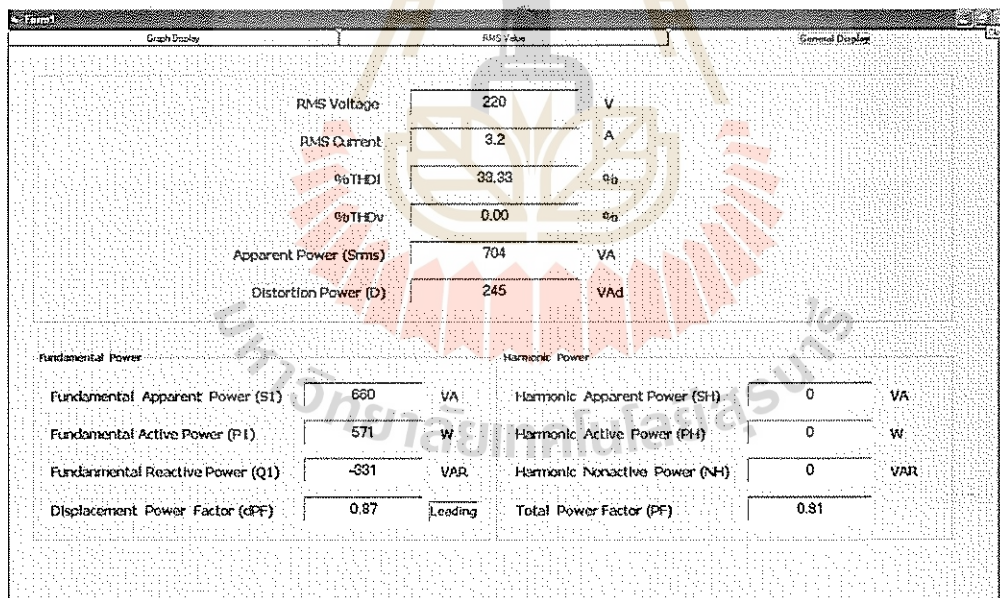


(ก)





(ข)



(ค)

รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบจากโปรแกรม ในกรณีแรงดันไม่บิดเบี้ยวแต่กระแสบิดเบี้ยวและมีการเลื่อนเฟส ของกระแส (ก) Graph Display (ข) General Display (ค) General Display

## 4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบโปรแกรม

จากตัวอย่างการทดสอบโปรแกรมทั้ง 5 ตัวอย่าง จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ และจากโปรแกรมมีความผิดพลาดน้อยมากสามารถยอมรับได้ ซึ่งค่าที่คลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมค่าความผิดพลาดจากการปัดทศนิยมในผลการคำนวณ

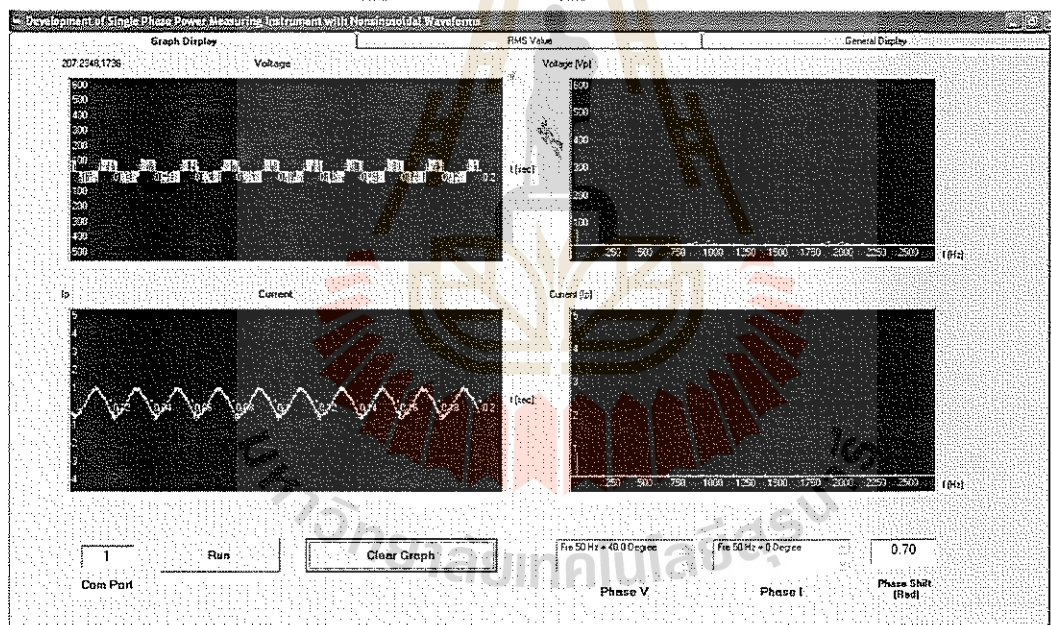
## 4.3 การประยุกต์เครื่องมือวัด

การประยุกต์เครื่องมือวัด แบ่งตัวอย่างการทดสอบออกเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

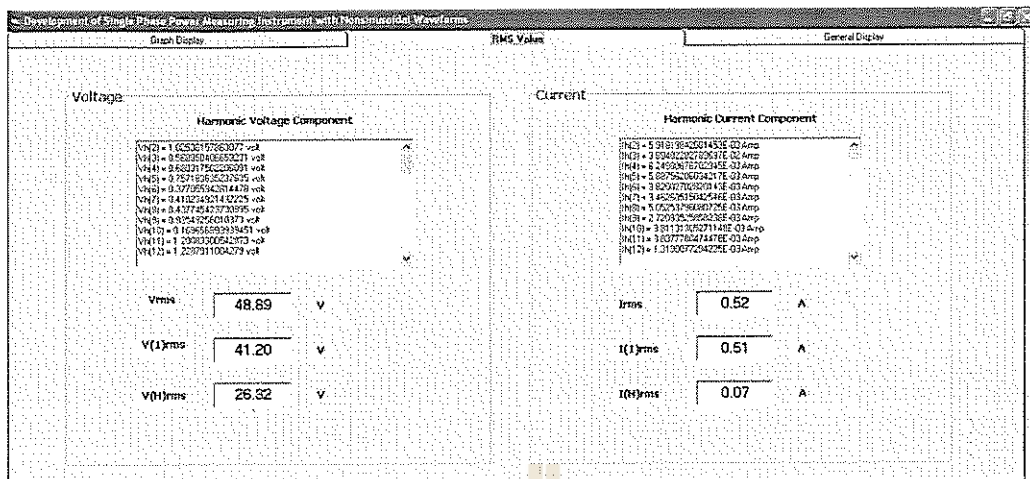
### 4.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ โหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ พิกัด  $0 - 240 V_{rms}$ ,  $0.5 - 120 \text{ Hz}$  โดยใช้ โหลด เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส พิกัด  $220 V_{rms}$ ,  $4.8 A_{rms}$

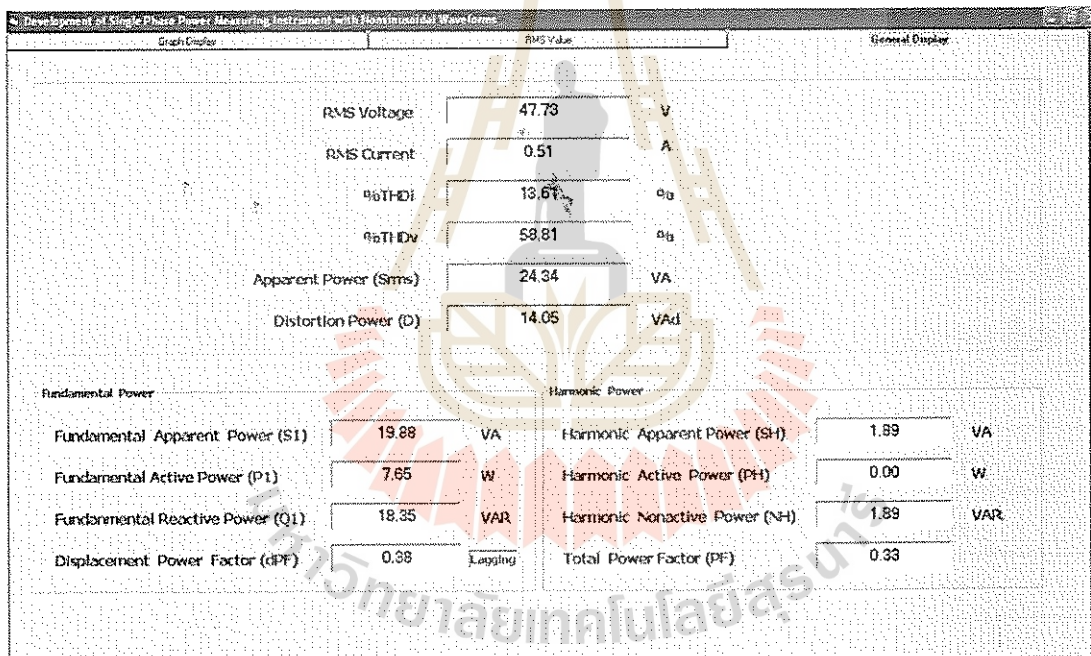
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าโหลด  $49.7 V_{rms}$  กระแส  $0.5 A_{rms}$



(ก)



(จ)

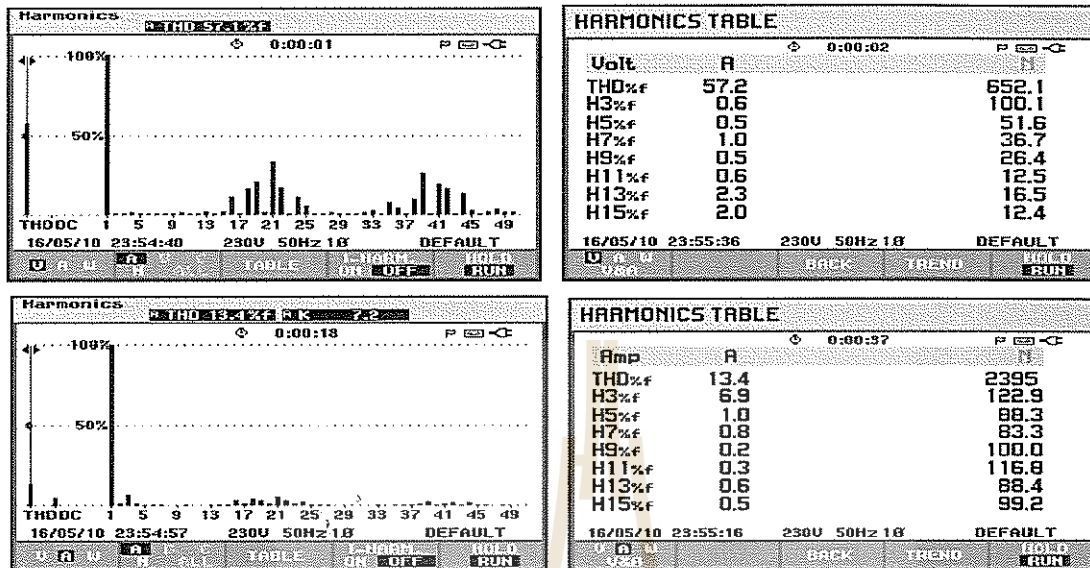


(ค)

รูปที่ 4. 25 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟสด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด  $49.7 V_{rms}$  และกระแส  $0.5 A_{rms}$  (ก) Graph Display (จ) RMS Value

(ค) General Display

ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer



รูปที่ 4.26 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer

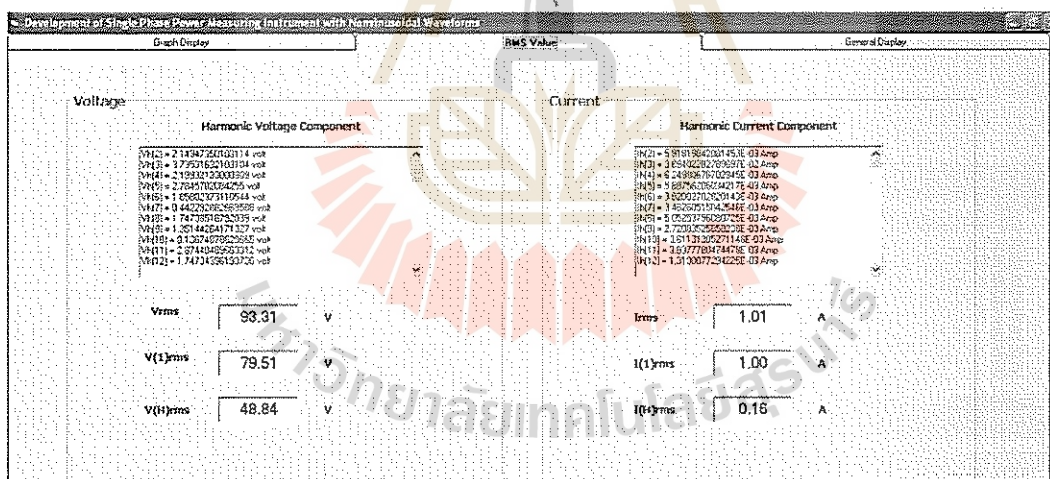
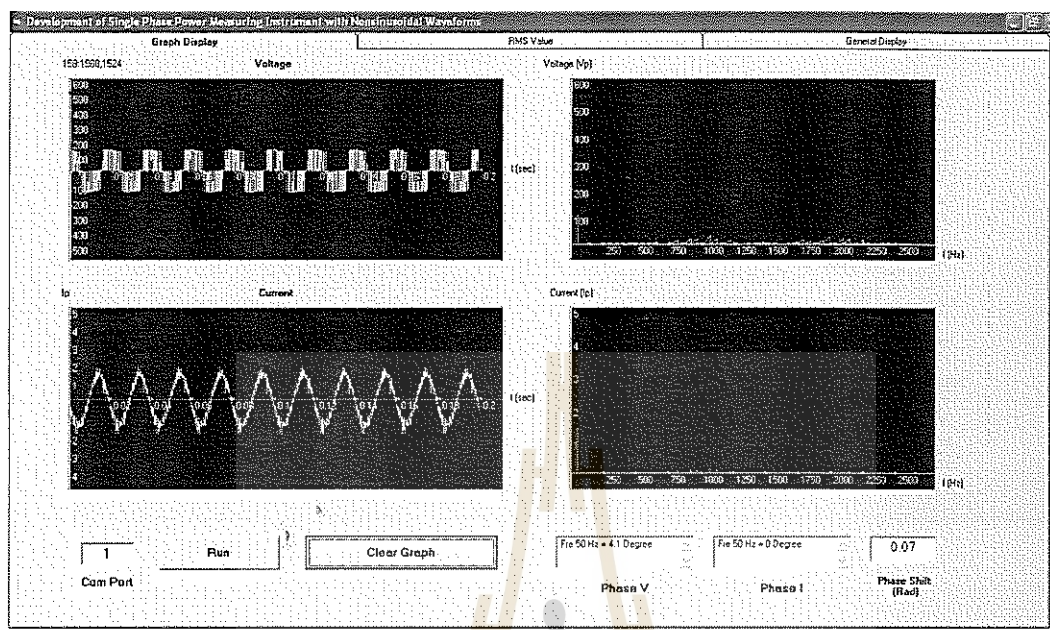
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ Fluke 434 ตรวจสอบผลการใช้

ปริมาณทางไฟฟ้า	Visual Basic	Fluke 434	% ความคลาดเคลื่อน
Vrms (V)	47.73	49.70	1.63
Irms (A)	0.51	0.50	2.00
dPF	0.38	0.36	5.56
PF	0.33	0.32	3.13
Apparent Power (VA)	24.34	24.85	2.05
Real Power (W)	(9.25)*	8.95	3.35
Reactive Power (VAR)	(22.51)*	23.18	2.89
%THDi	13.61	13.40	1.57
%THDv	58.81	57.20	2.81

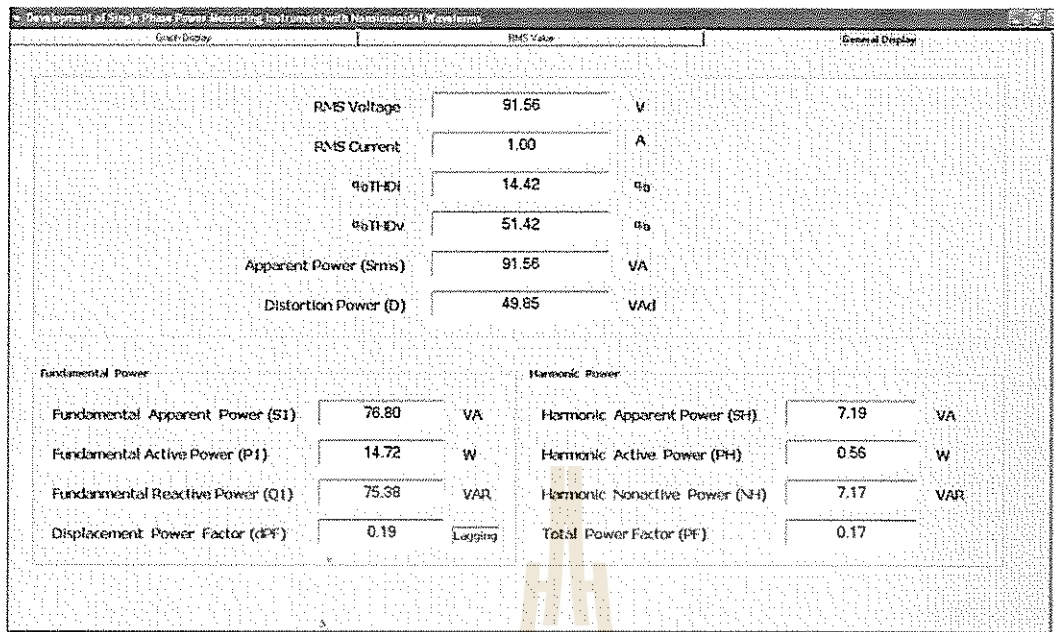
หมายเหตุ: \* ค่านี้นี้ไม่ได้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์



เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า  $95 V_{rms}$ ,  $1.0 A_{rms}$



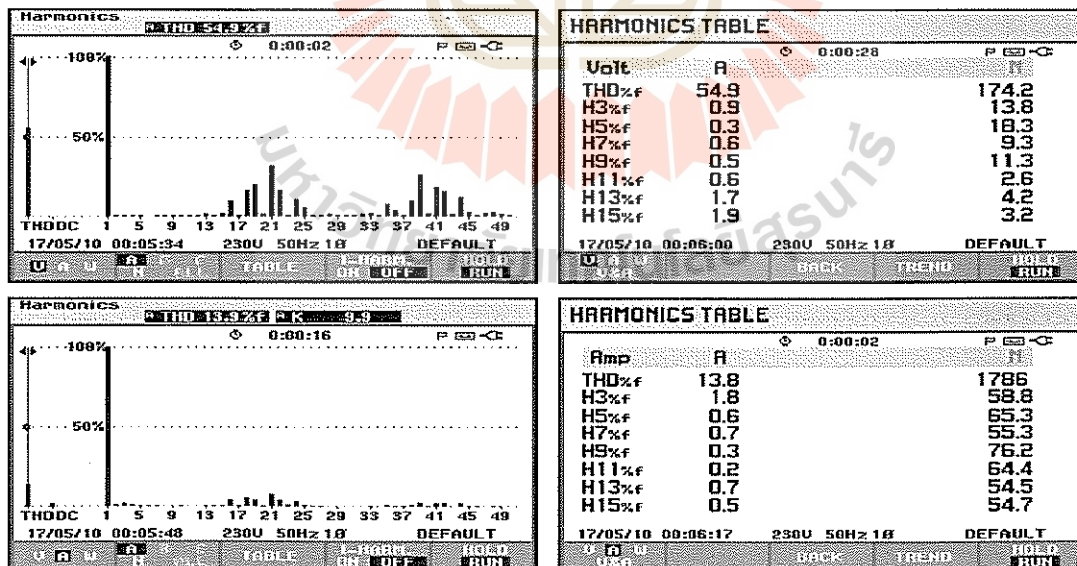
(๑)



(ก)

รูปที่ 4. 27 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟสด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด  $95 V_{rms}$  และกระแส  $1.0 A_{rms}$  (ก) Graph Display (ข) RMS Value

(ค) General Display



รูปที่ 4. 28 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer

ตารางที่ 4. 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ Fluke 434 ตรวจสอบวัดผลการใช้เครื่อง

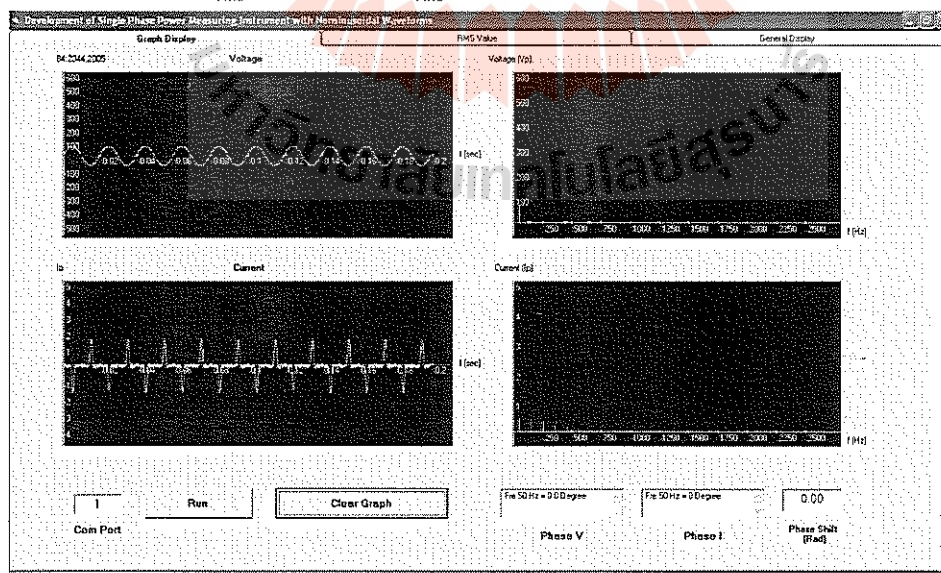
ปริมาณทางไฟฟ้า	Visual Basic	Fluke 434	% ความคลาดเคลื่อน
Vrms (V)	91.56	95.00	3.62
Irms (A)	1.00	1.00	0.00
dPF	0.19	0.20	5.00
PF	0.17	0.18	5.56
Apparent Power (VA)	91.56	95.00	3.62
Real Power (W)	(17.40)*	19.00	8.42
Reactive Power (VAR)	(89.89)*	93.08	3.43
%THDi	14.42	13.80	4.49
%THDv	51.42	54.90	6.34

หมายเหตุ: \* ค่านี้นี้ได้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

#### 4.3.2 วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบเต็มคลื่น

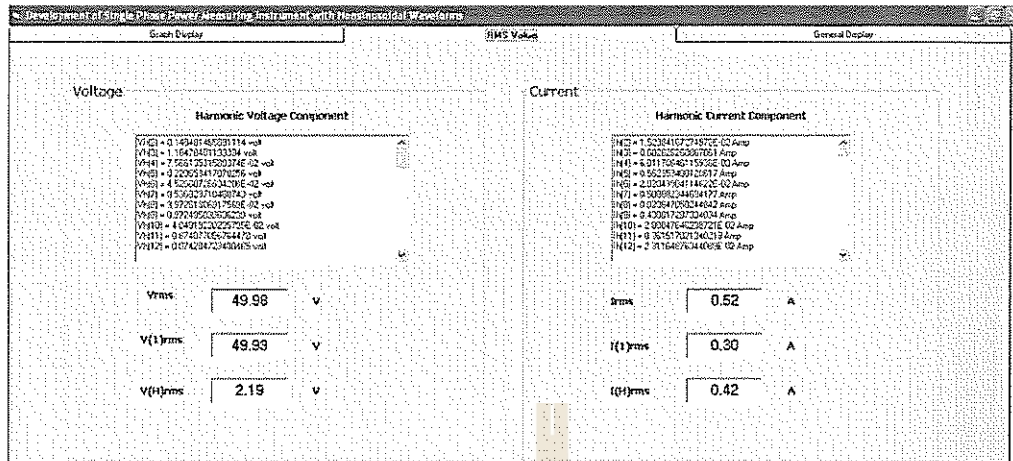
การทดสอบวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบเต็มคลื่น จะใช้โหลดเป็นความต้านทาน (R) ต่อ ขนานกับ ตัวเก็บประจุ (C) ขนาด 3300 uF

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า  $50 V_{rms}$  กระแส  $0.5 A_{rms}$

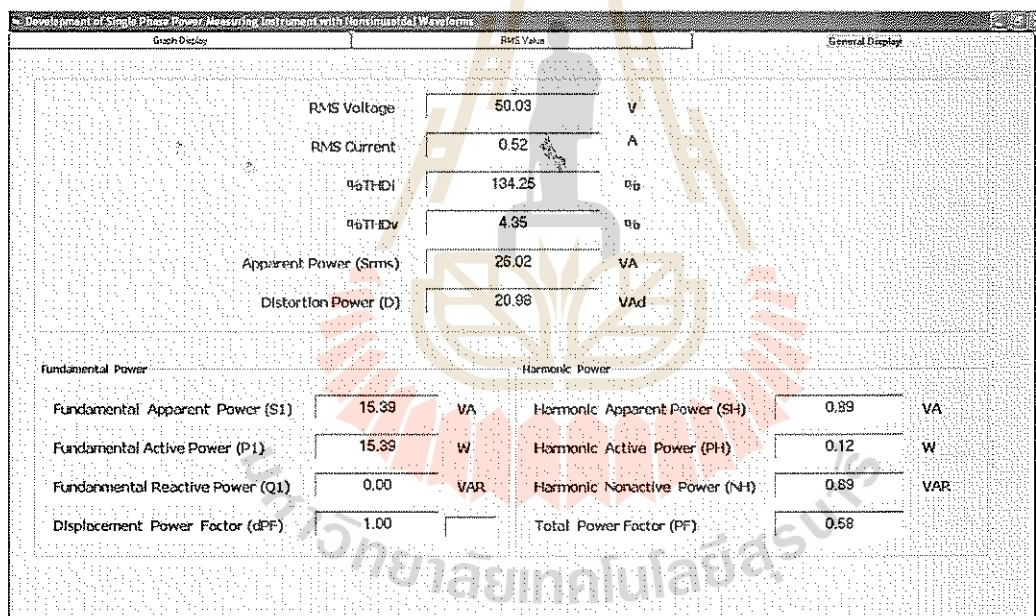


(ก)



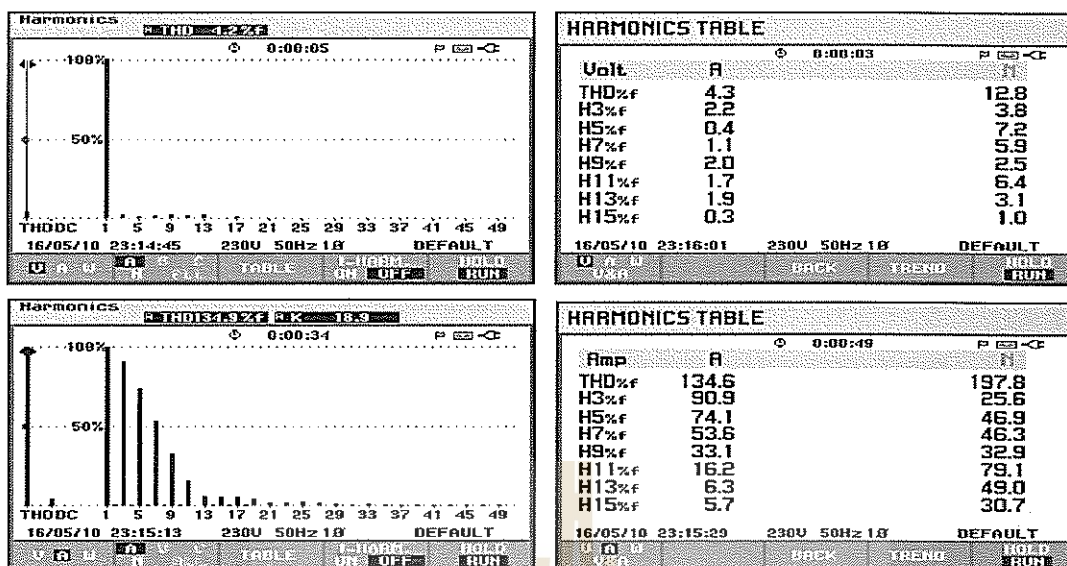


(ข)



(ค)

รูปที่ 4.29 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) ต่อขนานกับ ตัวเก็บประจุ (C) 3300  $\mu\text{F}$  เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด  $50 V_{rms}$  และกระแส  $0.5 A_{rms}$  (ก) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display



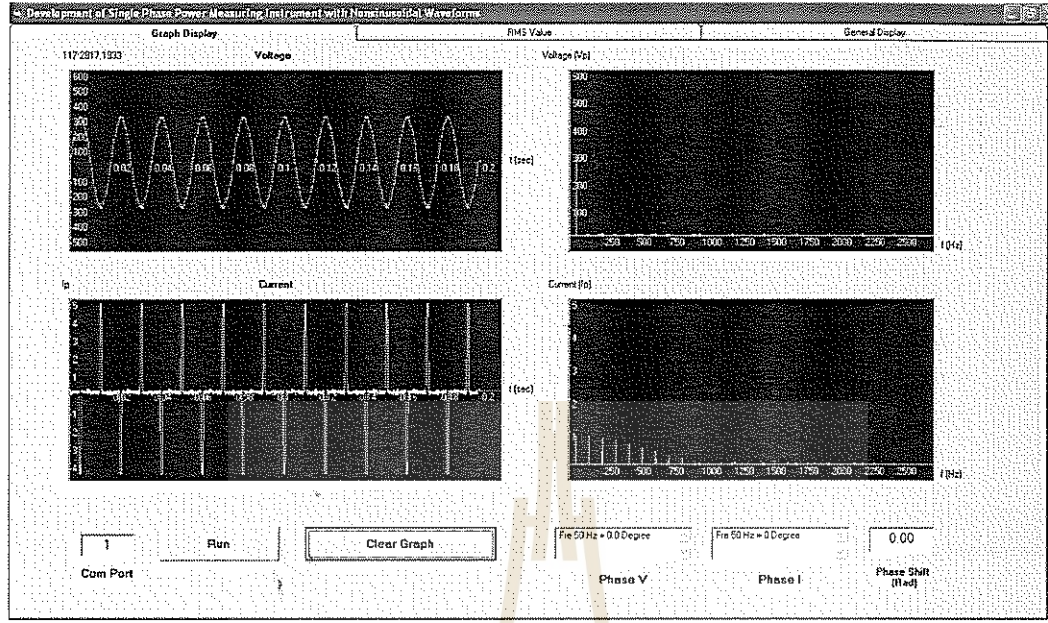
รูปที่ 4.30 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ Fluke 434 ตรวจสอบผลการใช้เครื่อง

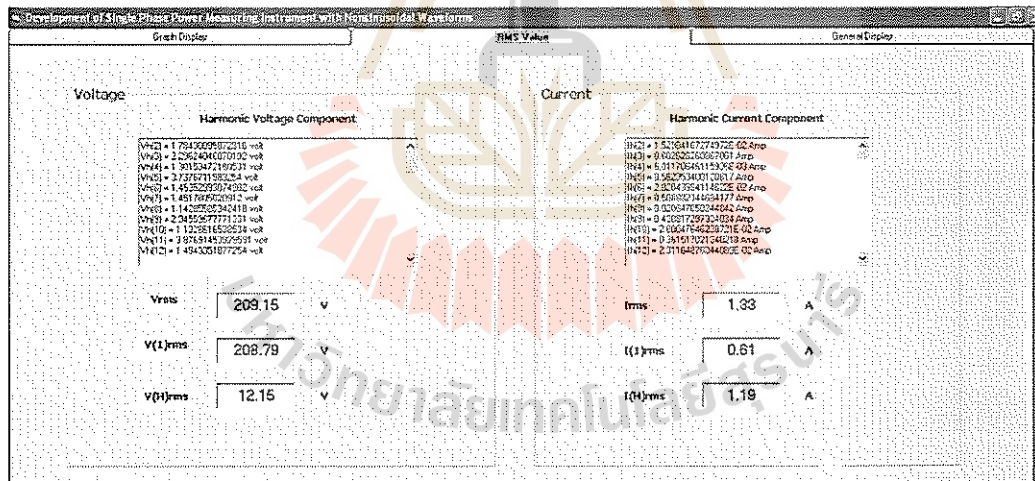
ปริมาณทางไฟฟ้า	Visual Basic	Fluke 434	% ความคลาดเคลื่อน
Vrms (V)	50.03	50.2	0.34
Irms (A)	0.52	0.50	4.00
dPF	1.00	1.00	0.00
PF	0.58	0.58	0.00
Apparent Power (VA)	26.02	25.1	3.66
Real Power (W)	(26.02)*	25.1	3.66
Reactive Power (VAR)	(0)*	0	0
%THDi	134.25	134.6	0.26
%THDv	4.35	4.3	1.16

หมายเหตุ: \* ค่านีมิได้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

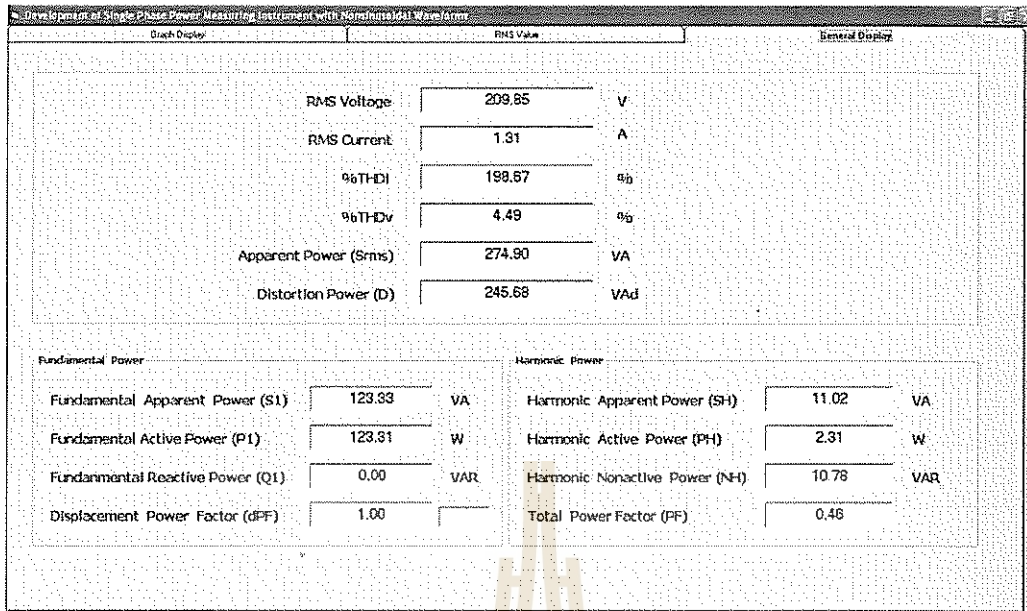
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 210  $V_{rms}$  กระแส 1.4  $A_{rms}$



(ก)

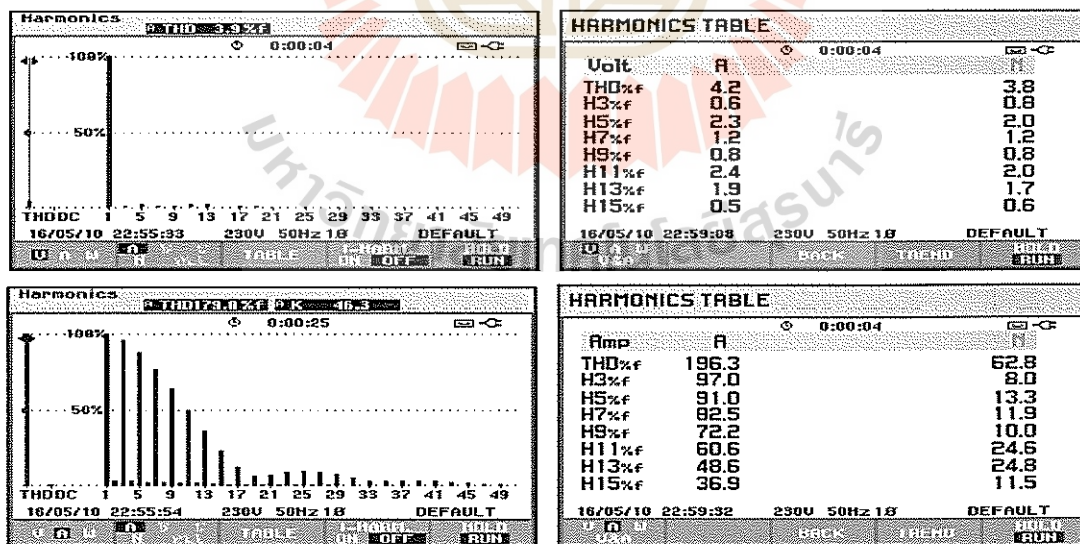


(ข)



(ค)

รูปที่ 4.31 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ(C) 3300 uF เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด 210  $V_{rms}$  และกระแส 1.4  $A_{rms}$  (ก) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display



รูปที่ 4.32 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer



ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ Fluke 434 ตรวจสอบผลการใช้เครื่อง

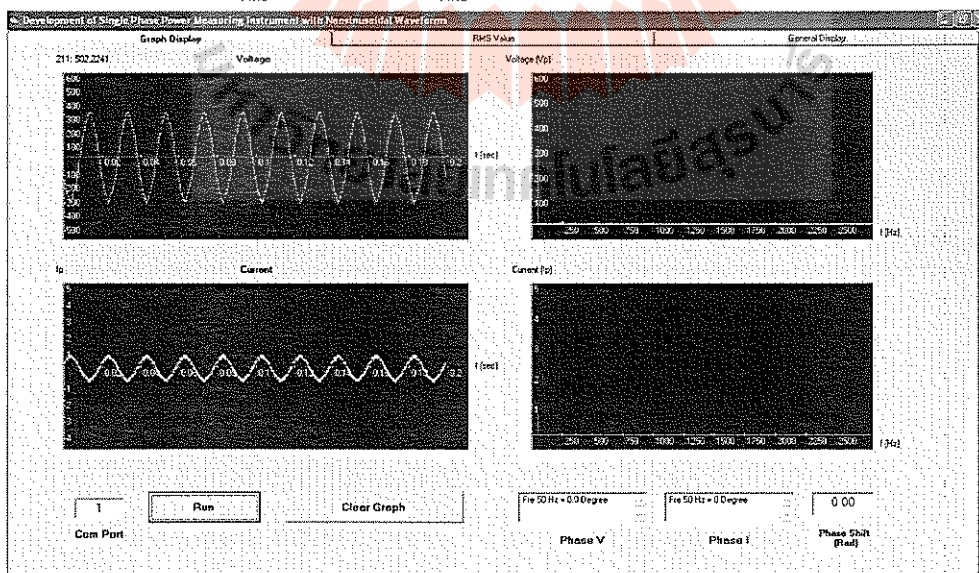
ปริมาณทางไฟฟ้า	Visual Basic	Fluke 434	% ความคลาดเคลื่อน
Vrms (V)	209.85	209.7	0.07
Irms (A)	1.31	1.4	6.43
dPF	1.00	1.00	0.00
PF	0.46	0.46	0.00
Apparent Power (VA)	274.9	293.58	6.36
Real Power (W)	(274.9)*	293.58	6.36
Reactive Power (VAR)	(0)*	0	0
%THDi	198.67	196.3	1.21
%THDv	4.49	4.2	6.90

หมายเหตุ: \* คำนี้นี้ได้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

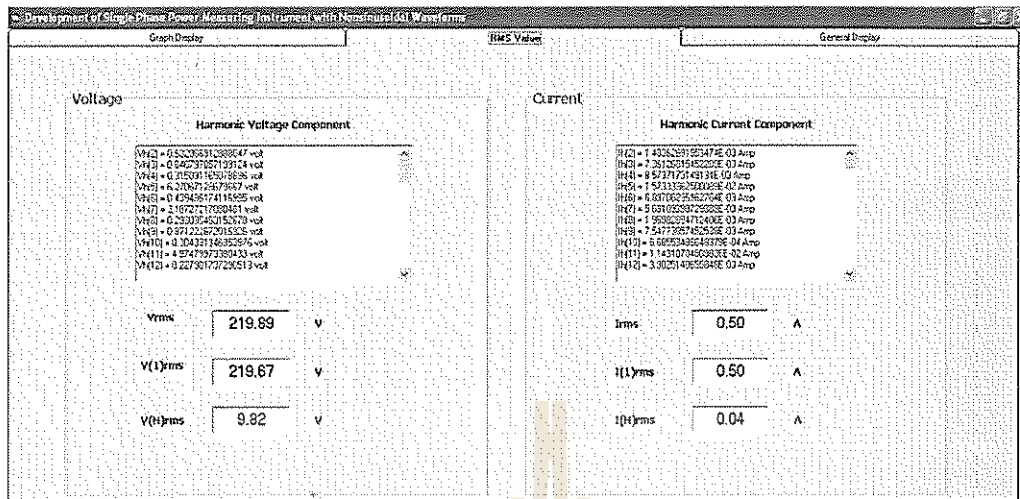
### 4.3.3 โหลดความต้านทาน

การทดสอบโหลดความต้านทานปรับค่าได้ 600 โอห์ม โดยจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากห้องปฏิบัติการ 220 Vrms, 50 Hz

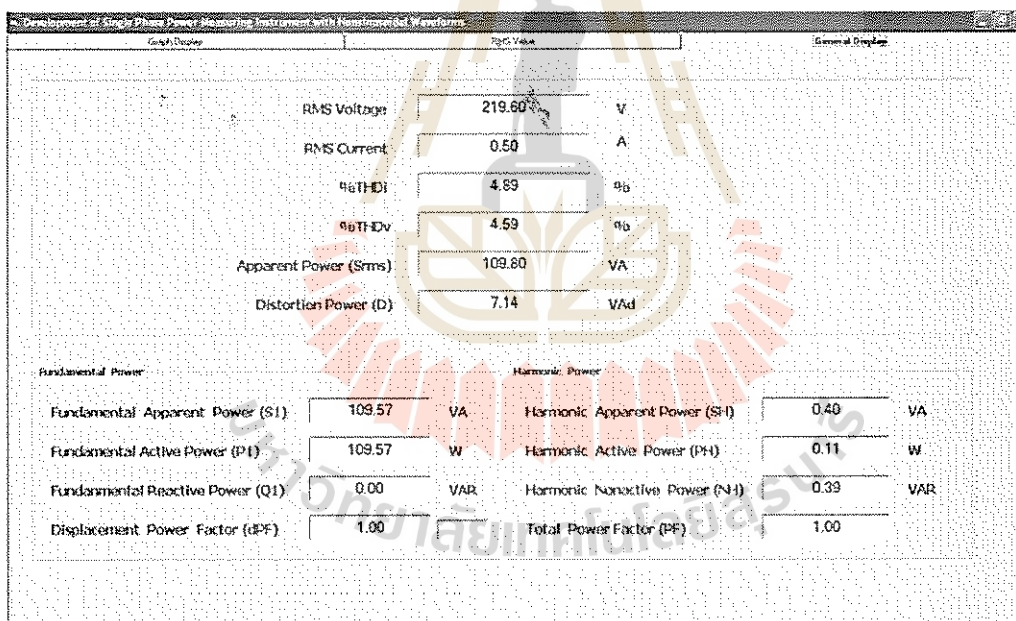
จ่ายแรงดันให้โหลด 220  $V_{rms}$  กระแส 0.5  $A_{rms}$



(ก)



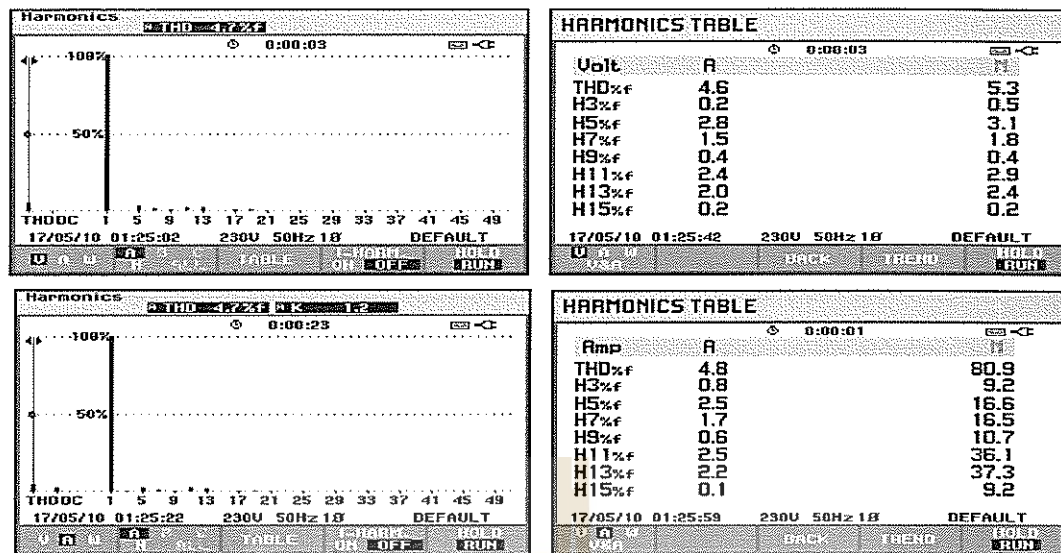
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.33 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด  $210V_{rms}$  50 Hz และกระแส  $1.4 A_{rms}$

(ข) Graph Display (ข) RMS Value (ค) General Display



รูปที่ 4.34 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer

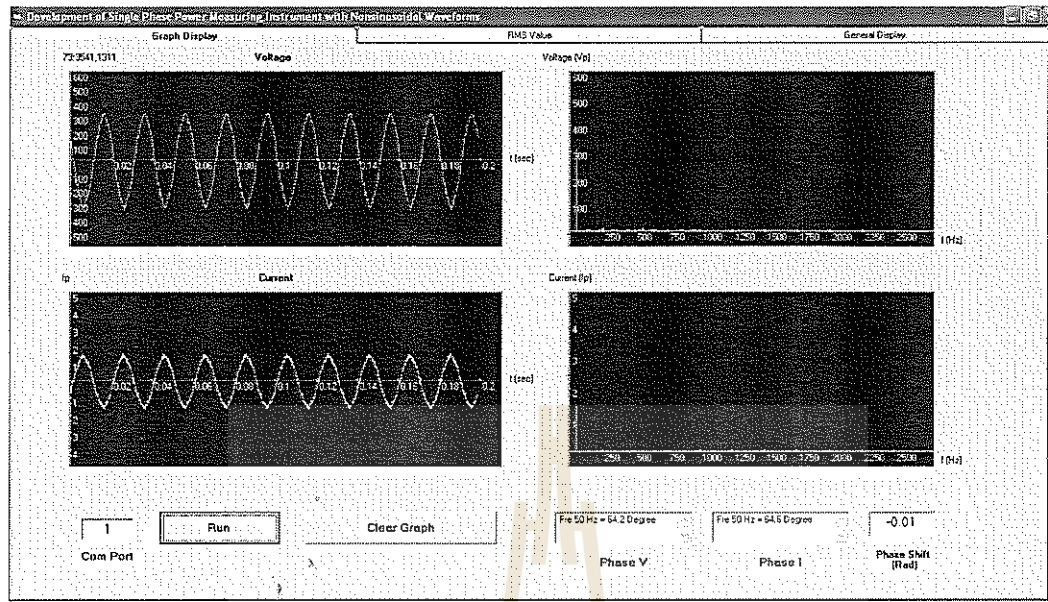
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ Fluke 434 ตรวจสอบผลการใช้เครื่อง

ปริมาณทางไฟฟ้า	Visual Basic	Fluke 434	% ความคลาดเคลื่อน
Vrms (V)	219.6	220.3	0.32
Irms (A)	0.50	0.5	0.00
dPF	1.00	1.00	0.00
PF	1.00	1.00	0.00
Apparent Power (VA)	109.8	110.15	0.32
Real Power (W)	(109.8)*	110.15	0.32
Reactive Power (VAR)	(0)*	0	0.00
%THDi	4.89	4.8	4.37
%THDv	4.59	4.6	0.22

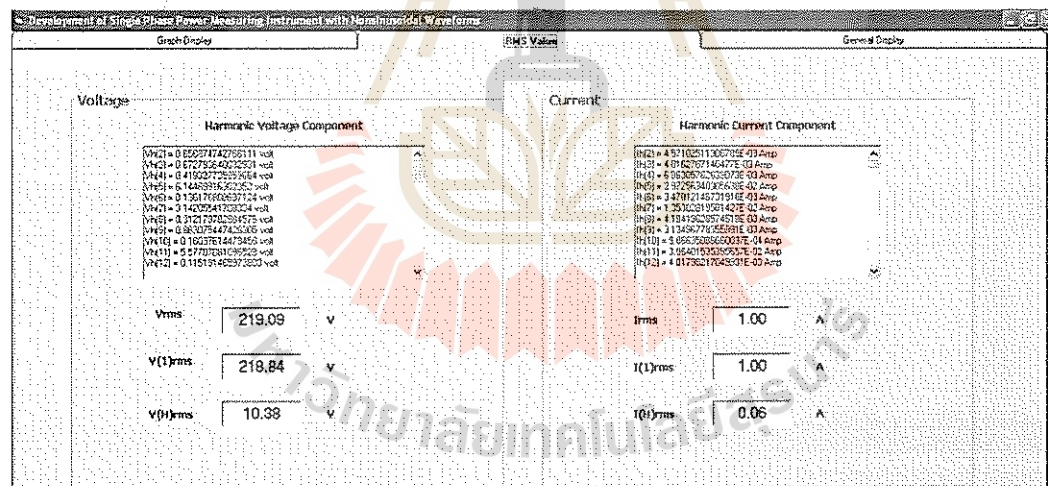
หมายเหตุ: \* ค่านี้นิได้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์



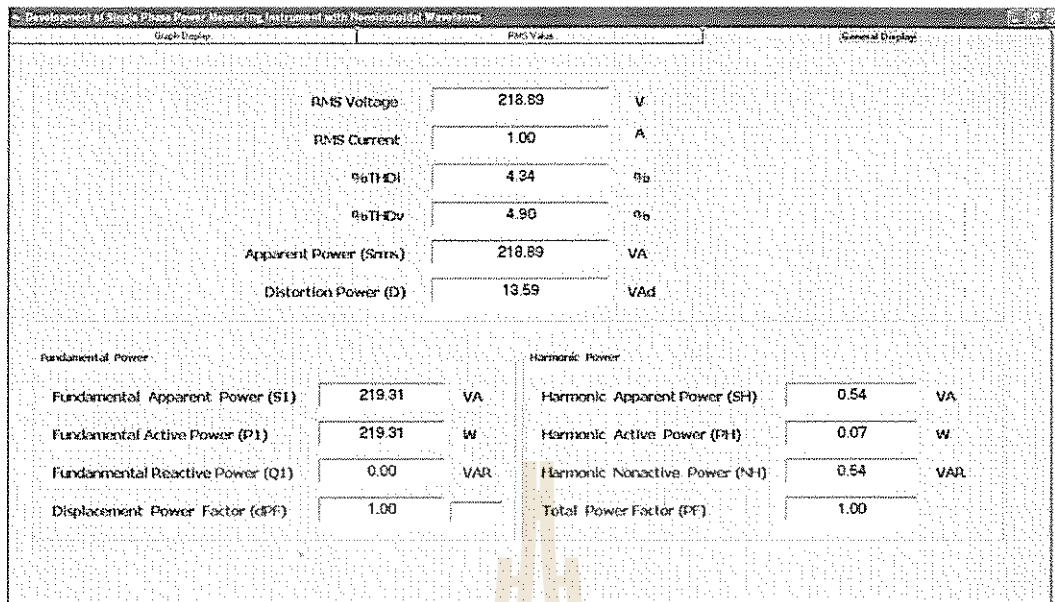
จ่ายแรงดัน  $100 V_{rms}$  กระแส  $1.0 A_{rms}$



(ก)



(ข)

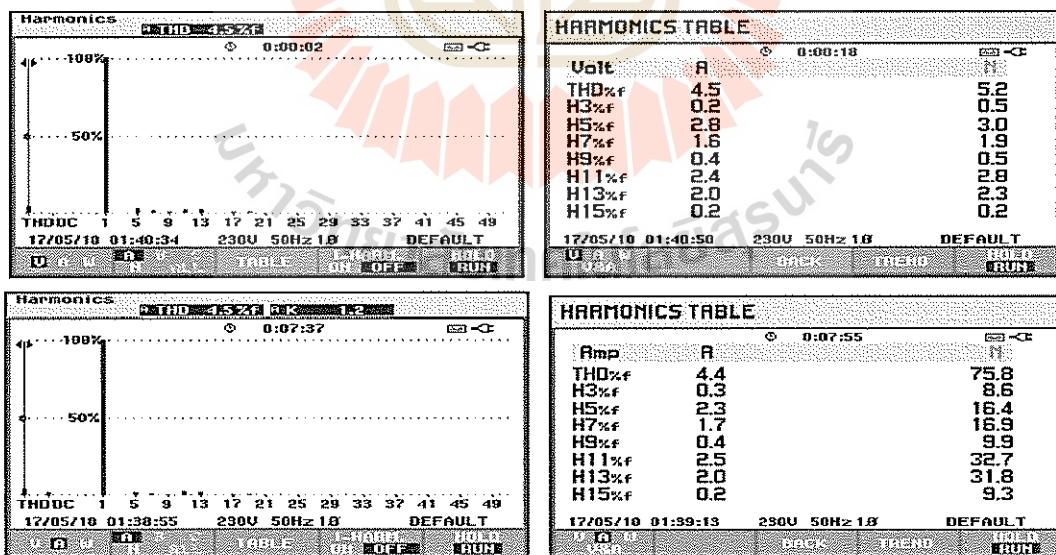


(ก)

รูปที่ 4.35 ผลการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ โหลดความต้านทาน (R) ต่อขนานกับ ตัวเก็บประจุ (C)

3300 uF เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลด  $220V_{rms}$  และกระแส  $0.5 A_{rms}$  (ก) Graph Display

(ข) RMS Value (ค) General Display



รูปที่ 4.36 ผลจาก Fluke 434 Power Quality analyzer

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับ Fluke 434 ตรวจสอบวัดผลการใช้เครื่อง

ปริมาณทางไฟฟ้า	Visual Basic	Fluke 434	% ความคลาดเคลื่อน
Vrms (V)	218.89	219.8	0.41
Irms (A)	1.00	1.00	0.00
dPF	1.00	1.00	0.00
PF	1.00	1.00	0.00
Apparent Power (VA)	218.89	219.8	0.41
Real Power (W)	(218.89)*	219.8	0.41
Reactive Power (VAR)	(0)*	0	0
%THDi	4.34	4.4	1.36
%THDv	4.90	4.5	8.89

หมายเหตุ: \* ค่านี้มิได้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

ในการทำโครงงานนี้ สิ่งสำคัญต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของการแปลงฟูรีเยร์ สำหรับโครงงานนี้ใช้การแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) วิเคราะห์สัญญาณใน โดเมนเวลา เพื่อหาใน โดเมนความถี่ แสดงรายละเอียดของฮาร์มอนิก

สำหรับโครงงานนี้มีการพัฒนาทางวิศวกรรม 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ โครงงานนี้ใช้โปรแกรมภาษาซีในการเขียนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานเชื่อมต่อกับ PC และการแปลงข้อมูล ในส่วนแสดงผลการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าใช้โปรแกรม Visual Basic

ส่วนการตรวจวัดปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์สำคัญในการตรวจวัด ซึ่งในโครงงานนี้ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นก็นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณต่างๆ ในโปรแกรม Visual Basic ซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3

หลังจากทำการตรวจจับสัญญาณได้แล้ว โดยผ่านเซนเซอร์และส่งสัญญาณผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ARM7024) เข้ามาในโปรแกรม Visual Basic แล้ว ต่อจากนี้ก็เป็นหน้าที่ของโปรแกรม Visual Basic ที่ต้องเขียนโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์สัญญาณดังกล่าวต่อไป ซึ่งการเขียนโปรแกรมได้เขียนการคำนวณกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ซึ่งสามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลัง, มุมเฟส, ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแส และแรงดันไฟฟ้า ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4

โครงงานนี้ได้สร้างเครื่องมือสำหรับวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่มีความถูกต้อง ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีความคลาดเคลื่อน โดยเฉลี่ยประมาณ 5% หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้อ่าน และมี ประโยชน์ในอนาคต ต่อไป

#### 5.2 ปัญหาระหว่างทำโครงงานและข้อเสนอแนะ

ผู้จัดทำโครงงานไม่มีความรู้เกี่ยวกับ โปรแกรม Visual Basic แนวทางการแก้ไขปัญหา คือ ต้องค้น หาข้อมูลจากหนังสือและอินเทอร์เน็ตเพิ่มเติม โดยการศึกษาจากโปรแกรมตัวอย่าง และขอคำแนะนำจากผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับ โปรแกรม Visual Basic

## เอกสารอ้างอิง

- R. Arseneau, Y. Baghzouz. (1996). **Practical Definitions for Powers in Systems with Nonsinusoidal Waveforms and Unbalanced Loads**. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11 (1): 79-83.
- James W. Nilsson and Susan A. Riedel. (2004). **Electric Circuits**. (1<sup>st</sup> Edition). London: Pearson Education.
- Jai P. Agrawal. (2001). **POWER ELECTRONIC SYSTEMS Theory and Design**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Steven W. Smith. (1999). **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing**. (2<sup>nd</sup> Edition). California: California Technical Publishing.
- Andreas Antoniou. (2006). **Digital Signal Processing SIGNALS SYSTEMS AND FILTERS**. New York: McGraw-Hill.
- Balmer, Leslie. (1997). **Signals and Systems: An Introduction**. Prentice Hall Europe: Hertfordshire.
- กองพล อารีรักษ์. (2552). รายงานการวิจัยเรื่อง ชุดตรวจวัดปริมาณทางไฟฟ้าแบบออนไลน์ (**Electrical Quantities Online Measurement**). สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- จักร จันทลักขณา. (2545). การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร. วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา สจพ. ปีที่ 14 (ฉบับที่ 44).
- วรานันต์ วงศ์วิศว์. (2541). **Visual Basic 6.0 Expert Edition**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เอส. พี. ซี. พรินติ้ง จำกัด.
- C. Sidney Burrus. (2008). **Fast Fourier Transforms** [On-line]. Available: <http://cnx.org/content/col10550/1.18>
- Wang Hongwei. (2009). **FFT Basics and Case Study using Multi-Instrument** [On-line]. Available: <http://www.virtines.com>

Oppenheim, A. V., and Schafer, R. W. (1989). **Discrete-time signal processing**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Oppenheim, A. V., and Schafer, R. W. (1989). **Discrete-time signal processing**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall





The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, stylized emblem. It features a central figure of a person standing on a pedestal, surrounded by a circular base with a gear-like pattern. Above the figure are several vertical lines of varying heights, resembling a stylized 'H' or a traditional architectural element. The entire logo is rendered in a light beige or gold color.

ภาคผนวก ก.

โปรแกรม Visual Basic ที่ใช้แสดงผลการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

'-----  
Dim Buffer, split\_str As String

Dim OldString As String

Dim NewString As String  
'-----

Dim samp\_buf(1024) As Double

Dim samp\_buf2(1024) As Double

Dim tmp\_phase\_v(1024) As Double

Dim tmp\_phase\_i(1024) As Double

Dim dif\_phase\_harmonic(20) As Double

Dim I\_peak(1024) As Double

Dim V\_peak(1024) As Double

Dim THDI, THDV, S1, P1, Q1, Q, D, PH, SH, NH, PF As Double

Dim sum\_h, Ih\_rms, Vh\_rms As Double

Dim Vrms\_Com(20) As Double

Dim Irms\_Com(20) As Double

Dim REX(1024) 'REX[ ] holds the real part of the frequency domain

Dim IMX(1024) 'IMX[ ] holds the imaginary part of the frequency domain

Dim outputarray(1024)

Dim outputarrayP(1024)

Dim outputarray2(1024)

Dim temp\_data(1024) As Long

Dim count\_point As Integer

Dim temp\_data2(1024) As Long

Dim phaseV, phaseI, phase\_V, phase\_I As Double

Dim sum\_vrms, sum\_irms, sum\_harmonics As Double

Dim temp\_ix(1024)

Const N = 1024  
'-----

Private Sub Command5\_Click()

```

""""Clear Graph""""
Picture1.Cls
Picture2.Cls
Picture3.Cls
Picture4.Cls
For cnt = 1 To 1024
    samp_buf(cnt) = 0
    samp_buf2(cnt) = 0
    samp_buf(cnt) = 0
    samp_buf2(cnt) = 0
Next cnt
Form_Activate
End Sub
'-----
Private Sub Command1_Click()
""""Plot Graph V""""
RandomColor = QBColor(Rnd * 14) + 1
If Cosine.Value = True Then
    Picture1.Cls
    Form_Act1
    X = -10
    Y = Cos(X)
    Picture1.CurrentX = X
    Picture1.CurrentY = Y
For cnt = 1 To 1024
    samp_buf(cnt) = samp_buf(cnt) + (cmbA * Cos((2 * 3.141592658 * cmbF * (cnt / 1024)) +
CDBl(Trim(Text22.Text * 3.141592658 / 180))))
Next cnt
Dim f(1024) As Long
For cnt = 1 To 1024

```

```
f(cnt) = f(cnt) + (cmbA * Cos((2 * 3.141592658 * cmbF * (cnt / 1024)) + CDbI(Trim(Text22.Text * 3.141592658 / 180))))
```

```
Picture1.Line -(cnt, f(cnt)), vbGreen
```

```
Next cnt
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
*****Plot Graph I*****
```

```
RandomColor = QBColor(Rnd * 14) + 1
```

```
If Cosine.Value = True Then
```

```
Picture3.Cls
```

```
Form_Act3
```

```
X = -15
```

```
Y = Cos(X)
```

```
Picture3.CurrentX = X
```

```
Picture3.CurrentY = Y
```

```
For cnt = 1 To 1024
```

```
samp_buf2(cnt) = samp_buf2(cnt) + (cmbA * Cos((2 * 3.141592658 * cmbF * (cnt / 1024)) + CDbI(Trim(Text15.Text * 3.141592658 / 180))))
```

```
Next cnt
```

```
Dim f2(1024) As Long
```

```
For cnt = 1 To 1024
```

```
f2(cnt) = f2(cnt) + (cmbA * Cos((2 * 3.141592658 * cmbF * (cnt / 1024)) + CDbI(Trim(Text15.Text * 3.141592658 / 180))))
```

```
Picture3.Line -(cnt, f2(cnt)), vbGreen
```

```
Next cnt
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```

Private Sub cmd_calculate_Click()
    """"""Calculate""""""
    Dim count_d As Integer
    Dim dif_phase As Double
    count_d = 0
    Text3.Text = ""
    For cnt = 50 To 1024 Step 50
        Vrms_Com(count_d) = V_peak(cnt) * 0.7071067812
        Irms_Com(count_d) = I_peak(cnt) * 0.7071067812

        """"""get_dif_phase_v_and_i""""""
        dif_phase_harmonic(count_d) = tmp_phase_v(cnt) - tmp_phase_i(cnt)
        count_d = count_d + 1
    Next cnt
    '-----
    sum_vrms = 0#
    sum_harmonics = 0#
    Ih_rms = 0#
    Vh_rms = 0#
    For cnt = 0 To 19
        sum_vrms = sum_vrms + (Vrms_Com(cnt) * Vrms_Com(cnt))
        sum_irms = sum_irms + (Irms_Com(cnt) * Irms_Com(cnt))

        If cnt > 0 Then
            If Vrms_Com(cnt) < 0.8 Then
                Vrms_Com(cnt) = 0#
            End If

            Vh_rms = Vh_rms + (Vrms_Com(cnt) * Vrms_Com(cnt))

            Text3.Text = Text3.Text & "Vh(" & cnt + 1 & ") = " & Vrms_Com(cnt) & " volt" & vbCrLf
        End If
    Next cnt
    Voltage Component
    If Irms_Com(cnt) < 0.007 Then

```

```

        Irms_Com(cnt) = 0#
    End If

    Ih_rms = Ih_rms + (Irms_Com(cnt) * Irms_Com(cnt))

    Text7.Text = Text7.Text & "Ih(" & cnt + 1 & ") = " & Irms_Com(cnt) & " Amp" & vbCrLf
Current Component
    End If
Next cnt

'-----
sum_vrms = Sqr(sum_vrms)
sum_irms = Sqr(sum_irms)
Ih_rms = Sqr(Ih_rms)
Vh_rms = Sqr(Vh_rms)
'-----
'-----"Debug Data "-----
Text4.Text = Format(sum_vrms, "#0")           ' Vrms
Text5.Text = Format(Vrms_Com(0), "#0")       ' V(1)rms
Text6.Text = Format(Vh_rms, "#0")           ' V(H)rms
'-----
Text8.Text = Format(sum_irms, "#0.0")        ' Irms
Text9.Text = Format(Irms_Com(0), "#0.0")    ' I(1)rms
Text10.Text = Format(Ih_rms, "#0.0")        ' I(H)rms
'-----
Text11.Text = Format(sum_vrms, "#0")         ' Vrms
Text12.Text = Format(sum_irms, "#0.0")      ' Irms
Text13.Text = Format((Text10.Text / Text9.Text) * 100, "#0.00") ' %THDi
Text23.Text = Format((Text6.Text / Text5.Text) * 100, "#0.00") ' %THDv
Text24.Text = Format((Text11.Text) * (Text12.Text), "#0") ' Apparent Power (Srms)
'-----
dif_phase = phaseV - phaseI

```



```

Text14.Text = Format(dif_phase, "#0.000")

If dif_phase < 0 Then
    Text16.Text = Text16.Text & "Leading"
End If

If dif_phase > 0 Then
    Text16.Text = Text16.Text & "Lagging"
End If

'-----
'Fundamental Power'
S1 = Sqr((Text5.Text * Text5.Text * Text9.Text * Text9.Text)) ' S1 =
Sqr(Vrms_Com(0)*Vrms_Coma(0)*Irms_Com(0)*Irms_Com(0))
'P1 = (CLng(Text5.Text) * CLng(Text9.Text)) * Cos(dif_phase) ' P1 =
Vrms_Com(0)*Irms_Com(0)*Cos(dif_phase)
'Q1 = (CLng(Text5.Text) * CLng(Text9.Text)) * Sin(dif_phase) ' Q1 =
Abs(Vrms_Com(0)*Irms_Com(0)*Sin(dif_phase))
'-----

P1 = (CLng(Text5.Text) * CLng(Text9.Text)) * Cos(dif_phase) ' P1 =
Vrms_Com(0)*Irms_Com(0)*Cos(dif_phase)
Q1 = (CLng(Text5.Text) * CLng(Text9.Text)) * Sin(dif_phase) ' Q1 =
Abs(Vrms_Com(0)*Irms_Com(0)*Sin(dif_phase))
'-----

Text25.Text = Format(S1, "#0") ' S1
Text26.Text = Format(P1, "#0") ' P1
Text27.Text = Format(Q1, "#0") ' Q1
Text28.Text = Format(Cos(dif_phase), "#0.00") ' Displacment Power Factor
'-----

'Harmonic Power'
Dim tmp_s, tmp_p As Double
tmp_s = (CLng(Text24.Text) * CLng(Text24.Text)) ' tmp_s = Srms * Srms
tmp_p = (P1 * P1) ' tmp_p = P1 * P1

```

```

'Q = Sqr(Abs(tmp_s - tmp_p))
D = Sqr(Abs((tmp_s) - (tmp_p) - (Q1 * Q1)))          ' Distortion Power
Text34.Text = Format(D, "#0")
SH = (Text6.Text) * (Text10.Text)                  ' SH = Vh_rms * Ih_rms
Text29.Text = Format(SH, "#0")                     ' Harmonic Apparent Power (SH)

PH = 0#
For cnt = 1 To 19
    PH = PH + (Vrms_Com(cnt) * Irms_Com(cnt) * Cos(dif_phase_harmonic(cnt)))
    If PH < 0.009 Then
        PH = 0#
    End If
Next cnt

Text30.Text = Format(PH, "#0")                      ' Harmonic Active Power (PH)
NH = Sqr(Abs((SH * SH) - (Text30.Text * Text30.Text))) ' NH = Sqr(Abs((SH * SH) - (PH * PH)))
Text31.Text = Format(NH, "#0")                      ' Harmonic Nonactive Power
PF = (P1 + (Text30.Text)) / (Text24.Text)           ' PF = (P1 + PH) / (sum_vrms * sum_irms)
Text32.Text = Format(PF, "#0.00")

End Sub
'-----
Private Sub Command3_Click()
    """"""FFT_V""""""
    For cnt = 0 To 1024
        REX(cnt) = samp_buf(cnt)
        IMX(cnt) = 0
    Next cnt
    fft
    For cnt = 0 To 512
        outputarray(cnt) = Sqr((IMX(cnt) * IMX(cnt)) + (REX(cnt) * REX(cnt)))

```

```

Next cnt
Dim get_v, get_h As Long
For cnt = 2 To 1024
    get_v = outputarray(cnt)
    get_v = (2 * get_v) / 1024
    V_peak(cnt) = get_v
    Picture2.Line -(cnt, get_v), vbGreen
Next cnt
End Sub
'-----
Private Sub Command6_Click()
    '*****FFT_I*****
    For cnt = 0 To 1024
        IMX(cnt) = 0
        REX(cnt) = 0
    Next cnt

    For cnt = 0 To 1024
        REX(cnt) = samp_buf2(cnt)
        IMX(cnt) = 0
    Next cnt

    fft

    For cnt = 0 To 512
        outputarray2(cnt) = Sqr((IMX(cnt) * IMX(cnt)) + (REX(cnt) * REX(cnt)))
    Next cnt

    Dim get_i, get_h As Long
    For cnt = 2 To 1024
        get_i = outputarray2(cnt)
        get_i = (2 * get_i) / 1024
        I_peak(cnt) = get_i

```

```

Picture4.Line -(cnt, get_i), vbGreen
Next cnt

Dim a As Integer
End Sub
-----
Private Sub Command7_Click()
""""Phase V_FFT""""
For cnt = 0 To 1024
    IMX(cnt) = 0
    REX(cnt) = 0
Next cnt
For cnt = 0 To 1024
    REX(cnt) = samp_buf(cnt)
    IMX(cnt) = 0
Next cnt
fft
For cnt = 0 To 512
    outputarrayP(cnt) = Atn(IMX(cnt) / REX(cnt))
Next cnt
For cnt = 0 To 1024
    get_v = outputarrayP(cnt)
    tmp_phase_v(cnt) = get_v
If cnt = 50 Then
    If get_v < 0.000009 Then
        get_v = 0#
    End If
    phase_V = Format(((get_v * 180) / 3.14159265), "#0.0")
    Text1.Text = Text1.Text & " Fre " & cnt & " Hz = " & phase_V & " Degree" & vbCrLf
    phaseV = get_v

```

```

    End If
  Next cnt
End Sub
'-----
Private Sub Command8_Click()
  """"Phase I_FFT""""
  For cnt = 0 To 1024
    IMX(cnt) = 0
    REX(cnt) = 0
  Next cnt
  For cnt = 0 To 1024
    REX(cnt) = samp_buf2(cnt)
    IMX(cnt) = 0
  Next cnt
  fft
  For cnt = 0 To 512
    outputarrayP(cnt) = Atn(IMX(cnt) / REX(cnt))
  Next cnt
  For cnt = 0 To 1024
    get_i = outputarrayP(cnt)
    tmp_phase_i(cnt) = get_i
    If cnt = 50 Then
      If get_i < 0.000009 Then
        get_i = 0#
      End If
      phase_I = Format(((get_i * 180) / 3.14159265), "#0.0")
      Text2.Text = Text2.Text & " Fre " & cnt & " Hz = " & phase_I & " Degree" & vbCrLf
      phaseI = get_i
    End If
  Next cnt

```

End Sub

'-----

Private Sub Form\_Activate()

Picture1.BackColor = vbBlack

Picture1.ForeColor = vbWhite

Picture1.DrawWidth = 1

Picture1.Scale (0, 600)-(1200, -600)

Picture1.Line (0, 0)-(600, 0)

Picture1.Line (0, 0)-(1500, 0), vbRed

Picture1.Line (0, -600)-(0, 600)

For X = 0 To 1000

    If (X = 100) Or (X = 200) Or (X = 300) Or (X = 400) Or (X = 500) Or (X = 600) Or (X = 700) Or  
(X = 800) Or (X = 900) Or (X = 1000) Then

        Picture1.Line (X, 10)-(X, -10)

        If X <> 0 Then Picture1.Print (0.0002 \* X)

    End If

Next X

For Y = -600 To 600

    If (Y = 100) Or (Y = 200) Or (Y = 300) Or (Y = 400) Or (Y = 500) Or (Y = 600) Or (Y = -100) Or  
(Y = -200) Or (Y = -300) Or (Y = -400) Or (Y = -500) Or (Y = -600) Then

        Picture1.Line (4, Y)-(-4, Y)

        If Y <> 0 Then

            Picture1.CurrentX = 0.25

            Picture1.Print (Y)

        End If

    End If

Next Y

"""""""" Picture2

Picture2.BackColor = vbBlack



```

Picture2.ForeColor = vbWhite
Picture2.DrawWidth = 1
Picture2.Scale (0, 600)-(1000, -50)
Picture2.Line (0, 0)-(1000, 0)
'Picture2.Line (0, 2000)-(300, 2000), vbRed
Picture2.Line (0, -50)-(0, 600)
For X = 0 To 1000
    If (X = 100) Or (X = 200) Or (X = 300) Or (X = 400) Or (X = 500) Or (X = 600) Or (X = 700) Or
(X = 800) Or (X = 900) Or (X = 1000) Then
        Picture2.Line (X, 5)-(X, -5)
        If X <> 0 Then Picture2.Print (X)
    End If
Next X
For Y = -10 To 600
    If (Y = 100) Or (Y = 200) Or (Y = 300) Or (Y = 400) Or (Y = 500) Or (Y = 600) Then
        Picture2.Line (4, Y)-(-4, Y)
        If Y <> 0 Then
            Picture2.CurrentX = 0.25
            Picture2.Print (Y)
        End If
    End If
Next Y

```

```

"""""""""" Picture 3""

```

```

Picture3.BackColor = vbBlack
Picture3.ForeColor = vbWhite
Picture3.DrawWidth = 1
Picture3.Scale (0, 6)-(1200, -6)
Picture3.Line (0, 0)-(6, 0)
Picture3.Line (0, 0)-(1500, 0), vbRed

```

```

Picture3.Line (0, -6)-(0, 6)
For X = 0 To 1000
    If (X = 100) Or (X = 200) Or (X = 300) Or (X = 400) Or (X = 500) Or (X = 600) Or (X = 700) Or
(X = 800) Or (X = 900) Or (X = 1000) Then
        Picture3.Line (X, 0.15)-(X, -0.15)
        If X <> 0 Then Picture3.Print (0.0002 * X)
    End If
Next X
For Y = -6 To 6
    If (Y = 100) Or (Y = 200) Or (Y = 300) Or (Y = 400) Or (Y = 500) Or (Y = 600) Or (Y = -100) Or
(Y = -200) Or (Y = -300) Or (Y = -400) Or (Y = -500) Or (Y = -600) Then
        Picture3.Line (4, Y)-(-4, Y)
        If Y <> 0 Then
            Picture3.CurrentX = 0.25
            Picture3.Print (Y)
        End If
    End If
' End If
Next Y

.....Picture 4.....
Picture4.BackColor = vbBlack
Picture4.ForeColor = vbWhite
Picture4.DrawWidth = 1
Picture4.Scale (0, 6)-(1000, -0.6)
Picture4.Line (0, 0)-(1000, 0)
'Picture2.Line (0, 2000)-(300, 2000), vbRed
Picture4.Line (0, -6)-(0, 6)
For X = 0 To 1000
    If (X = 100) Or (X = 200) Or (X = 300) Or (X = 400) Or (X = 500) Or (X = 600) Or (X = 700) Or
(X = 800) Or (X = 900) Or (X = 1000) Then

```

```

Picture4.Line (X, 0.15)-(X, -0.15)
If X <> 0 Then Picture4.Print (X)
End If
Next X
For Y = -1 To 6
  'If (Y = 100) Or (Y = 200) Or (Y = 300) Or (Y = 400) Or (Y = 500) Or (Y = 600) Then
  Picture4.Line (4, Y)-(-4, Y)
  If Y <> 0 Then
    Picture4.CurrentX = 0.25
    Picture4.Print (Y)
  End If
'End If
Next Y
End Sub
'-----
Public Sub fft()
pi = 3.14159265      'Set constants
1000 'THE FAST FOURIER TRANSFORM
1010 'Upon entry, N% contains the number of points in the DFT, REX[ ] and
1020 'IMX[ ] contain the real and imaginary parts of the input. Upon return,
1030 'REX[ ] and IMX[ ] contain the DFT output. All signals run from 0 to N%-1.
1060 NM1% = 1024 - 1
1070 ND2% = 1024 / 2
1080 M% = CInt(Log(N%) / Log(2))
1090 J% = ND2%
1100 '
1110 For i% = 1 To N% - 2 'Bit reversal sorting
1120   If i% >= J% Then GoTo 1190
1130   TR = REX(J%)
1140   TI = IMX(J%)

```

```

1150   REX(J%) = REX(i%)
1160   IMX(J%) = IMX(i%)
1170   REX(i%) = TR
1180   IMX(i%) = TI
1190   K% = ND2%
1200   If K% > J% Then GoTo 1240
1210   J% = J% - K%
1220   K% = K% / 2
1230   GoTo 1200
1240   J% = J% + K%
1250 Next i%
1260 'GoTo 1510
1270 For L% = 1 To M%                                'Loop for each stage
1280   LE% = CInt(2 ^ L%)
1290   LE2% = LE% / 2
1300   UR = 1
1310   UI = 0
1320   SR = Cos(pi / LE2%)                            'Calculate sine & cosine values
1330   SI = -Sin(pi / LE2%)
1340   For J% = 1 To LE2%                              'Loop for each sub DFT
1350     JM1% = J% - 1
1360     For i% = JM1% To NM1% Step LE%                'Loop for each butterfly
1370       IP% = i% + LE2%
1380       TR = REX(IP%) * UR - IMX(IP%) * UI 'Butterfly calculation
1390       TI = REX(IP%) * UI + IMX(IP%) * UR
1400       REX(IP%) = REX(i%) - TR
1410       IMX(IP%) = IMX(i%) - TI
1420       REX(i%) = REX(i%) + TR
1430       IMX(i%) = IMX(i%) + TI
1440     Next i%

```

```

1450     TR = UR
1460     UR = TR * SR - UI * SI
1470     UI = TR * SI + UI * SR
1480     Next J%
1490 Next L%
End Sub

```

```

Private Sub Form_Act1()
Picture1.BackColor = vbBlack
Picture1.ForeColor = vbWhite
Picture1.DrawWidth = 1
Picture1.Scale (0, 600)-(1200, -600)
Picture1.Line (0, 0)-(600, 0)
Picture1.Line (0, 0)-(1500, 0), vbRed
Picture1.Line (0, -600)-(0, 600)
For X = 0 To 1000
    If (X = 100) Or (X = 200) Or (X = 300) Or (X = 400) Or (X = 500) Or (X = 600) Or (X = 700) Or
(X = 800) Or (X = 900) Or (X = 1000) Then
        Picture1.Line (X, 5)-(X, -5)
        If X <> 0 Then Picture1.Print (0.0002 * X)
    End If
Next X
For Y = -600 To 600
    If (Y = 100) Or (Y = 200) Or (Y = 300) Or (Y = 400) Or (Y = 500) Or (Y = 600) Or (Y = -100) Or
(Y = -200) Or (Y = -300) Or (Y = -400) Or (Y = -500) Or (Y = -600) Then
        Picture1.Line (4, Y)-(-4, Y)
        If Y <> 0 Then
            Picture1.CurrentX = 0.25

```

```

        Picture1.Print (Y)
    End If
End If
Next Y
End Sub
'-----
Private Sub Form_Act3()
Picture3.BackColor = vbBlack
Picture3.ForeColor = vbWhite
Picture3.DrawWidth = 1
Picture3.Scale (0, 6)-(1200, -6)
Picture3.Line (0, 0)-(6, 0)
Picture3.Line (0, 0)-(1500, 0), vbRed
Picture3.Line (0, -6)-(0, 6)
For X = 0 To 1000
    If (X = 100) Or (X = 200) Or (X = 300) Or (X = 400) Or (X = 500) Or (X = 600) Or (X = 700) Or
(X = 800) Or (X = 900) Or (X = 1000) Then
        Picture3.Line (X, 0.15)-(X, -0.15)
        If X <> 0 Then Picture3.Print (0.0002 * X)
    End If
Next X
For Y = -6 To 6
    ' If (Y = 100) Or (Y = 200) Or (Y = 300) Or (Y = 400) Or (Y = 500) Or (Y = 600) Or (Y = -100) Or
(Y = -200) Or (Y = -300) Or (Y = -400) Or (Y = -500) Or (Y = -600) Then
        Picture3.Line (4, Y)-(-4, Y)
        If Y <> 0 Then
            Picture3.CurrentX = 0.25
            Picture3.Print (Y)
        End If
    ' End If

```



Next Y

End Sub

-----





ภาคผนวก ข.

โปรแกรมภาษาซี สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7024

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

/*****/

/* Program For "ET-BASE ARM ADUc7024" Board */

/* Target MCU : Analog Device ADUc7024      */

/*      : X-TAL : 32.768 KHz          */

/*      : Run Speed 41.78 MHz (With PLL)    */

/*      : Select CD:CPU Clock Divider = 0    */

/* Function : Example Read ADC + Display on UART */

/*****/

// Display ADC on UART (9600,N,8,1)
// Used ADC0 Read Voltage Range 0..2V5
#include <ADUc7024.H> // ADUc7024 MPU Register
#include <stdio.h> // For Used Function printf
#define DataBuffer 500 // Max=880 Error
#define DelaySampling 185 // Original=200
#include "ADUc7042_Srl.c"
#include "ADUc7042_ADC.c"
unsigned int ReadData[DataBuffer][2];
int main(void)
{
    unsigned int i;
    Initial_Serial();
    Initial_ADC0();
    while (1)
    {
        i=0;
        for (i=0; i<DataBuffer; i++)
        {
            ReadData[i][0] = ADC_ReadInt(0); // Select Voltage Channel to
Conversion
            ReadData[i][1] = ADC_ReadInt(1); // Select Current Channel to
Conversion
        }
        printf("=====\n");
        for (i=0; i<DataBuffer; i++)

```

```

        printf("%2d:%4d,%4d\n",i,ReadData[i][0],ReadData[i][1]); // Select Ch to
Conv.
        Delay(50);
    }
}

//=====
// SERIAL.C : Initial UART For ET-BASE ARM ADUc7024
//=====

#define CR 0x0D // Enter Code

//=====
// Delay Time Function 1-4294967296
//=====

void Delay(unsigned long int count1)
{
    while(count1 > 0) {count1--;} // Loop Decrease Counter
}

//=====
// Initial UART = 9600,N,8,1
// Uclk = 41.78 MHz
//=====

void Initial_Serial(void)
{
    GP1CON &= 0xFFFFFCC; // Reset P1.1 & P1.0 Pin Function
    GP1CON |= 0x00000011; // Setup P1.1 = TXD & P1.0 = RXD

    // Initial UART = 9600BPS
    COMCON0 = 0x80; // Setting DLAB 0x88 = 9600
    COMDIV0 = 0x44; // Setting DIV0 and DIV1 to DL
calculated
    COMDIV1 = 0x00; // 0x44 = 19200, 0x22=38400,
0x0b=115200
    COMCON0 = 0x07; // Clearing DLAB
}

```

```

//=====
// Write Character To UART
//=====

int putchar(int ch) // Write character to Serial
Port
{
    if (ch == '\n')
    {
        while(!(0x40==(COMSTA0 & 0x40))) // Wait TX Complete
        {
            COMTX = CR; // Write CR
        }
        while(!(0x40==(COMSTA0 & 0x40))) // Wait TX Complete
        {
        }
        return (COMTX = ch);
    }
}

//=====
// Read Character From UART
//=====

int getchar (void) // Read character from Serial
Port
{
    while(!(0x01==(COMSTA0 & 0x01))) // Wait Receive Data Ready
    {
    }
    return (COMRX);
}

//=====
// ADUc7042_ADC : Procedure ADC For ET-BASE ARM ADUc7024
//=====

void Initial_ADC(void) // Power-ON ADC
{
    ADCCON = 0x00000000; // Reset ADC Config
    ADCCON |= 0x00000020; // Power-ON ADC Function
}

```

```

    Delay(1000); // Wait ADC Power-on Ready
    ADCCON |= 0x00001400; // ADC Clock = fADC/32
    ADCCON |= 0x00000300; // Acquisition Time = 16 Cycle Clock
    ADCCON &= 0xFFFFFE7; // ADC = Single-End Mode
    ADCCON |= 0x00000004; // Continue Software Convert
    REFCON = 0x00000001; // Used Internal 2.5V Reference
    ADCCON |= 0x00000080; // ADC Start Conversion
}

unsigned int ADC_ReadInt(int channel)
{
    unsigned int val; // ADC Result (HEX)
    ADCCON &= 0xffff7f; // ADC Stop Conversion
    ADCCP = channel & 0x0f; // Select Channel to Conversion 0-9
    ADCCON |= 0x00000080; // ADC Start Conversion
    while (!ADCSTA){}; // Wait ADC Conversion Complete
    (Bit0="1")
    val = (ADCDAT >> 16)& 0x0fff; // Shift ADC Result to Integer

    Delay(DelaySampling); // Original 200
    return (val); // Input Scale Down 50%
}

```





ภาคผนวก ค.

โปรแกรม MATLAB สำหรับตรวจสอบการหามุมเฟสของสัญญาณในโดเมนความถี่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## การหามุมเฟสของสัญญาณในโดเมนความถี่ (MATLAB)

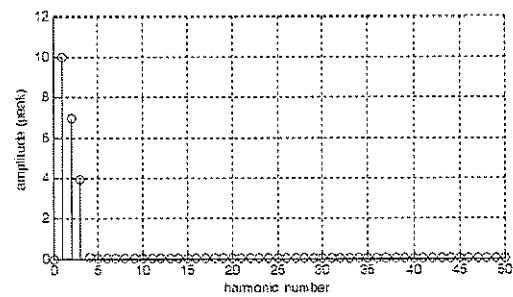
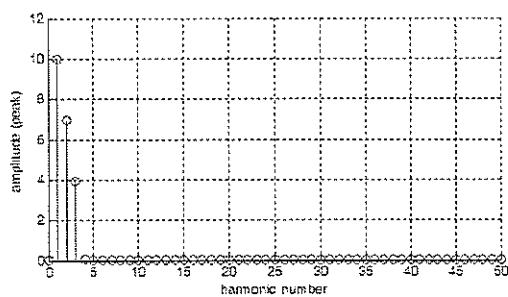
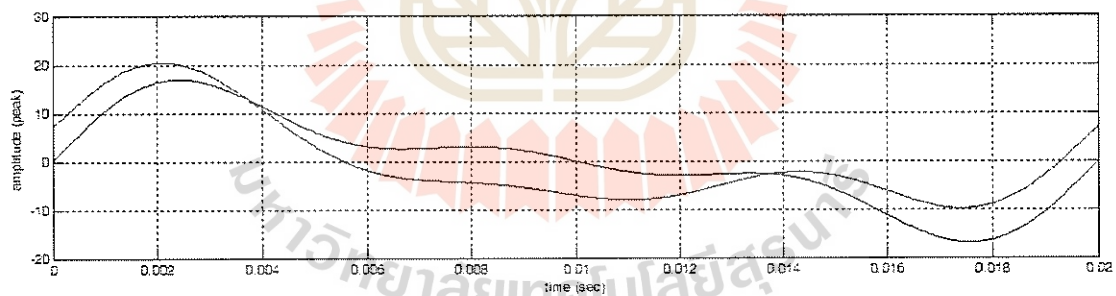
### Example 1

$$I = 10 \sin(2\pi t/T_s + \pi/4) + 7 \sin(2\pi \cdot 2t/T_s) + 4 \sin(2\pi \cdot 3t/T_s)$$

$$V = 10 \sin(2\pi t/T_s) + 7 \sin(2\pi \cdot 2t/T_s) + 4 \sin(2\pi \cdot 3t/T_s)$$

จากสัญญาณที่สร้างขึ้นมา I นำ V  $45^\circ$  ที่ความถี่ fundamental [ $\cos -45^\circ = 0.707$ ]

	I	V
Fundamental Signal	$M = 10, \phi = 45.292^\circ$	$M = 10, \phi = 0.351^\circ$
Angle (degree)	45.292	0.351
Phase Shift (degree) ( $\theta = \theta_V - \theta_I$ )		-44.941
% error of phase		0.131 %
dPF = $\cos \theta$		0.708
% error of dPF		0.141 %



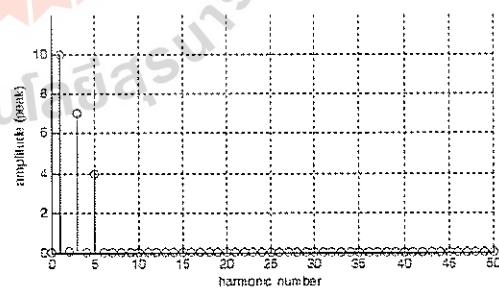
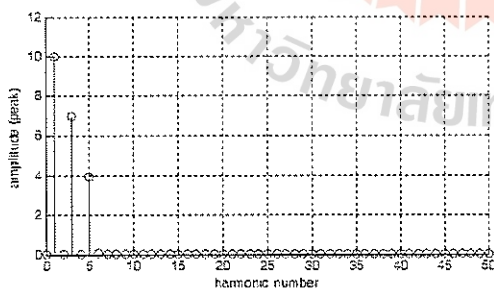
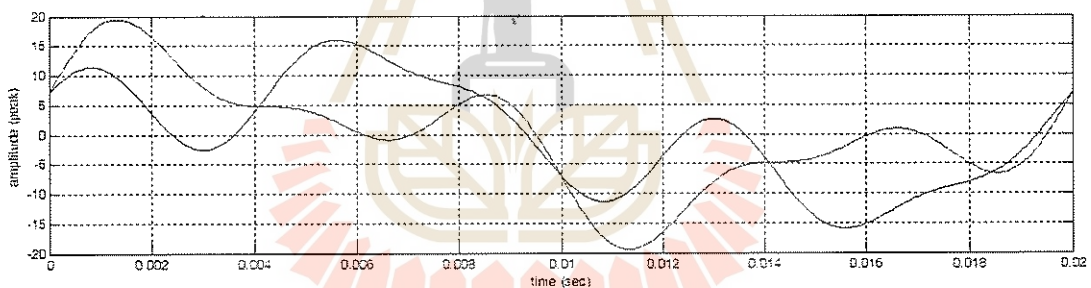
**Example 2**

$$I = 10 \sin(2\pi t/T_s + \pi/4) + 7 \sin(2\pi \cdot 3t/T_s) + 4 \sin(2\pi \cdot 5t/T_s)$$

$$V = 10 \sin(2\pi t/T_s) + 7 \sin(2\pi \cdot 3t/T_s + \pi/2) + 4 \sin(2\pi \cdot 5t/T_s)$$

จากสัญญาณที่สร้างขึ้นมา I นำ V 45o ที่ความถี่ fundamental [ $\cos -45^\circ = 0.707$ ]

	I	V
Fundamental Signal	$M = 10, \phi = 45.334^\circ$	$M = 10, \phi = 0.527^\circ$
Angle (degree)	45.334	0.527
Phase Shift (degree) ( $\theta = \theta_v - \theta_i$ )		-44.807
% error of phase		0.428 %
dPF = $\cos \theta$		0.709
% error of dPF		0.283 %



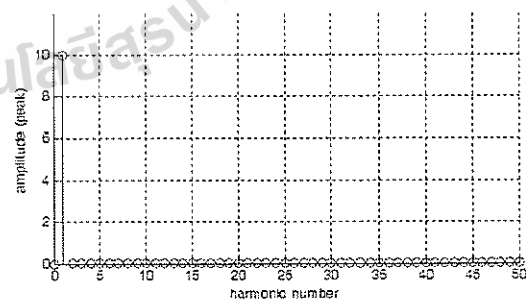
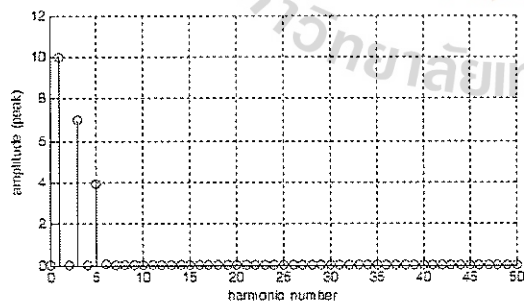
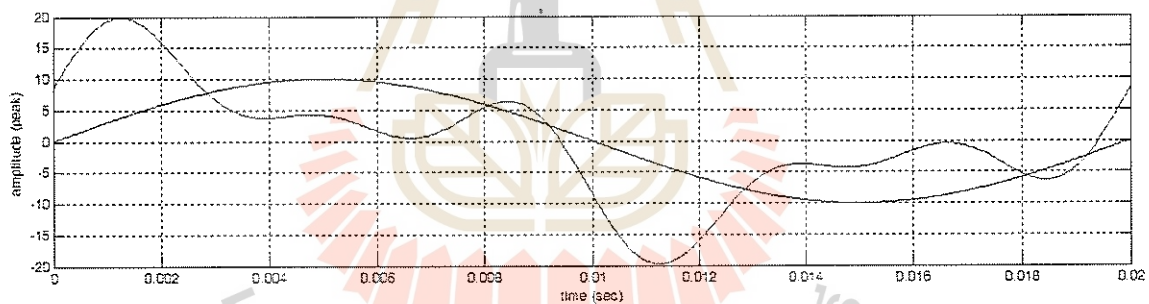
**Example 3**

$$I = 10 \sin(2\pi t/T_s + \pi/4) + 7 \sin(2\pi \cdot 3t/T_s + \pi/16) + 4 \sin(2\pi \cdot 5t/T_s)$$

$$V = 10 \sin(2\pi t/T_s)$$

จากสัญญาณที่สร้างขึ้นมา I นำ V 45o ที่ความถี่ fundamental [ $\cos -45^\circ = 0.707$ ]

	I	V
Fundamental Signal	$M = 10, \phi = 45.359^\circ$	$M = 10, \phi = 0.351^\circ$
Angle (degree)	45.359	0.351
Phase Shift (degree) ( $\theta = \theta_V - \theta_I$ )	-45.008	
% error of phase	0.018 %	
dPF = $\cos \theta$	0.707	
% error of dPF	~ 0 %	



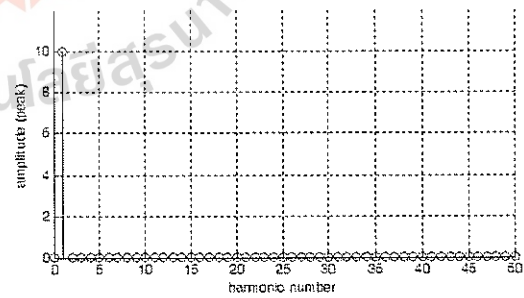
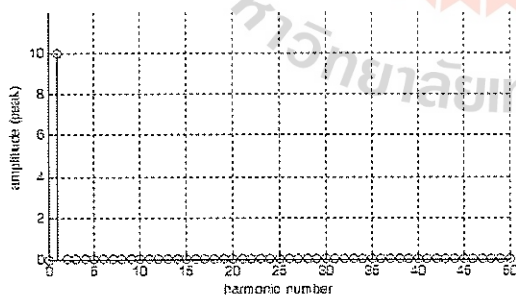
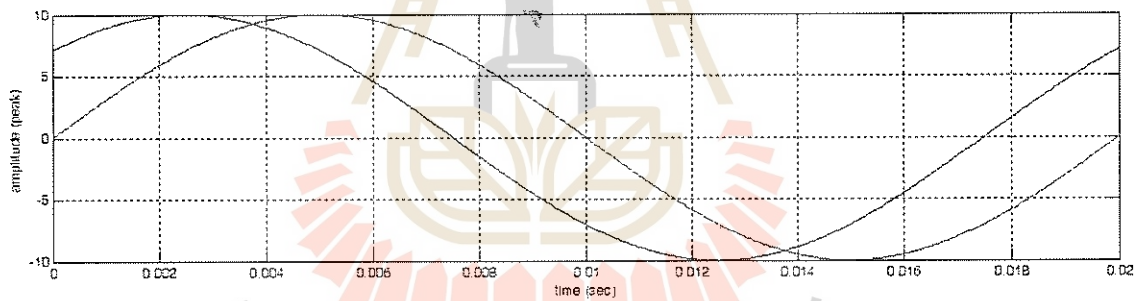
**Example 4**

$$I = 10 \sin(2\pi t/T_s)$$

$$V = 10 \sin(2\pi t/T_s + (\pi/4))$$

จากสัญญาณที่สร้างขึ้นมา I ตาม V 45o [dPF = Cos 45o = 0.707]

	I	V
Fundamental Signal	$M = 10, \phi = 0.351^\circ$	$M = 10, \phi = 45.388^\circ$
Angle (degree)	0.351	45.388
Phase Shift (degree) ( $\theta = \theta_v - \theta_i$ )		45.037
% error of phase		0.082 %
dPF = Cos $\theta$		0.706
% error of dPF		0.141 %



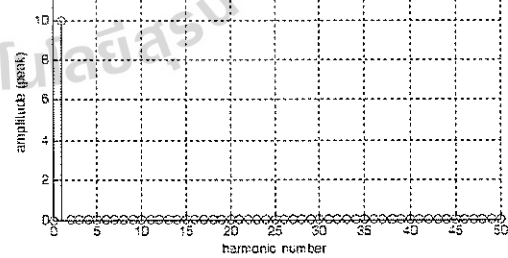
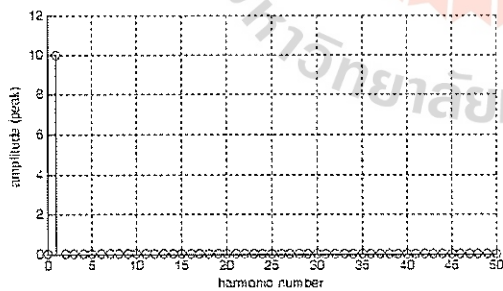
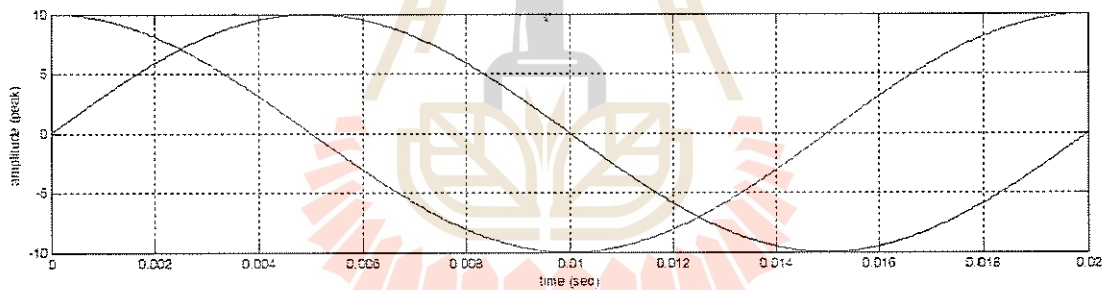
**Example 5**

$$I = 10 \cos(2\pi t/T_s)$$

$$V = 10 \sin(2\pi t/T_s)$$

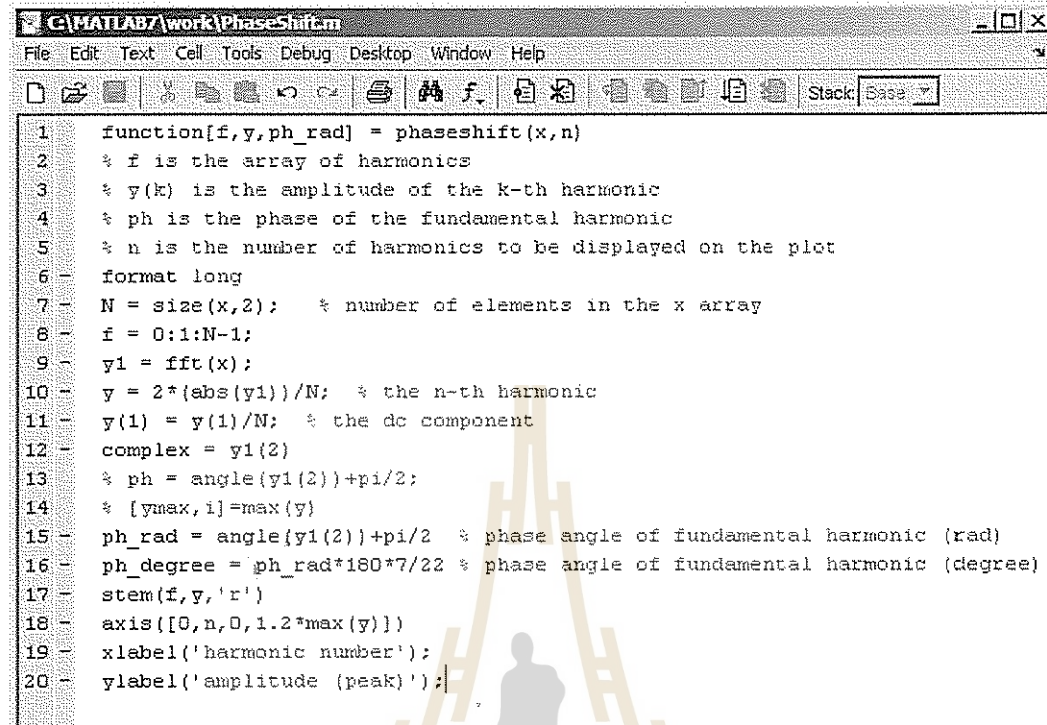
จากสัญญาณที่สร้างขึ้นมา I นำ V 90° [dPF =  $\cos 90^\circ = 0$ ]

	I	V
Fundamental Signal	$M = 10, \phi = 90.315^\circ$	$M = 10, \phi = 0.351^\circ$
Angle (degree)	90.315	0.351
Phase Shift (degree) ( $\theta = \theta_v - \theta_i$ )	-89.964	
% error of phase	0.040 %	
dPF = $\cos \theta$	0.001	
% error of dPF	~ 0 %	





## MATLAB Program



```

1 function[f,y,ph_rad] = phaseshift(x,n)
2 % f is the array of harmonics
3 % y(k) is the amplitude of the k-th harmonic
4 % ph is the phase of the fundamental harmonic
5 % n is the number of harmonics to be displayed on the plot
6 format long
7 N = size(x,2); % number of elements in the x array
8 f = 0:1:N-1;
9 y1 = fft(x);
10 y = 2*(abs(y1))/N; % the n-th harmonic
11 y(1) = y(1)/N; % the dc component
12 complex = y1(2);
13 % ph = angle(y1(2))+pi/2;
14 % [ymax,i]=max(y)
15 ph_rad = angle(y1(2))+pi/2 % phase angle of fundamental harmonic (rad)
16 ph_degree = ph_rad*180*7/22 % phase angle of fundamental harmonic (degree)
17 stem(f,y,'r')
18 axis([0,n,0,1.2*max(y)])
19 xlabel('harmonic number');
20 ylabel('amplitude (peak)');

```

```

1 - close all;clear all;clc;
2
3 - Ts = 0.02;      % at frequency 50 Hz
4 - dt = Ts/512;   % period = 1 second, dt is the time step in the time array
5 - t = 0:dt:Ts;   % time array over a period
6
7 - % Example_1
8 - % I = 10*sin(2*pi*t/Ts+(pi/4))+7*sin(2*pi*2*t/Ts)+4*sin(2*pi*3*t/Ts);
9 - % V = 10*sin(2*pi*t/Ts)+7*sin(2*pi*2*t/Ts)+4*sin(2*pi*3*t/Ts);
10 - % Example_2
11 - % I = 10*sin(2*pi*t/Ts+(pi/4))+7*sin(2*pi*2*t/Ts)+4*sin(2*pi*3*t/Ts);
12 - % V = 10*sin(2*pi*t/Ts)+7*sin(2*pi*2*t/Ts+(pi/2))+4*sin(2*pi*3*t/Ts);
13 - % Example_3
14 - % I = 10*cos(2*pi*t/Ts);
15 - % V = 10*sin(2*pi*t/Ts+(pi/4));
16 - I = 10*cos(2*pi*t/Ts);
17 - V = 10*sin(2*pi*t/Ts+(pi/4));
18 -
19 - Irms = sqrt(mean(I.^2)); % rms value
20 - Vrms = sqrt(mean(V.^2));
21 - subplot(2,2,1:2);
22 - plot(t,I,'r',t,V,'b');grid;
23 - xlabel('time (sec)');
24 - ylabel('amplitude (peak)');
25 - subplot(2,2,3);
26 - [f,y,ph] = phaseshift(I,50);grid;
27 - subplot(2,2,4);
28 - [f,y,ph] = phaseshift(V,50);grid;
29

```

## MATLAB Function Reference

angle

Phase angle

*Syntax*

$P = \text{angle}(Z)$

*Description*

$P = \text{angle}(Z)$  returns the phase angles, in radians, for each element of complex array  $Z$ . The angles lie between  $-\pi$  and  $\pi$ . For complex  $Z$ , the magnitude  $R$  and phase angle  $\theta$  are given by

$$R = \text{abs}(Z)$$

$$\theta = \text{angle}(Z)$$

and the statement

$$Z = R \cdot \exp(i \cdot \theta)$$

converts back to the original complex Z.

Examples

$$Z = \begin{bmatrix} 1 - 1i & 2 + 1i & 3 - 1i & 4 + 1i \\ 1 + 2i & 2 - 2i & 3 + 2i & 4 - 2i \\ 1 - 3i & 2 + 3i & 3 - 3i & 4 + 3i \\ 1 + 4i & 2 - 4i & 3 + 4i & 4 - 4i \end{bmatrix}$$

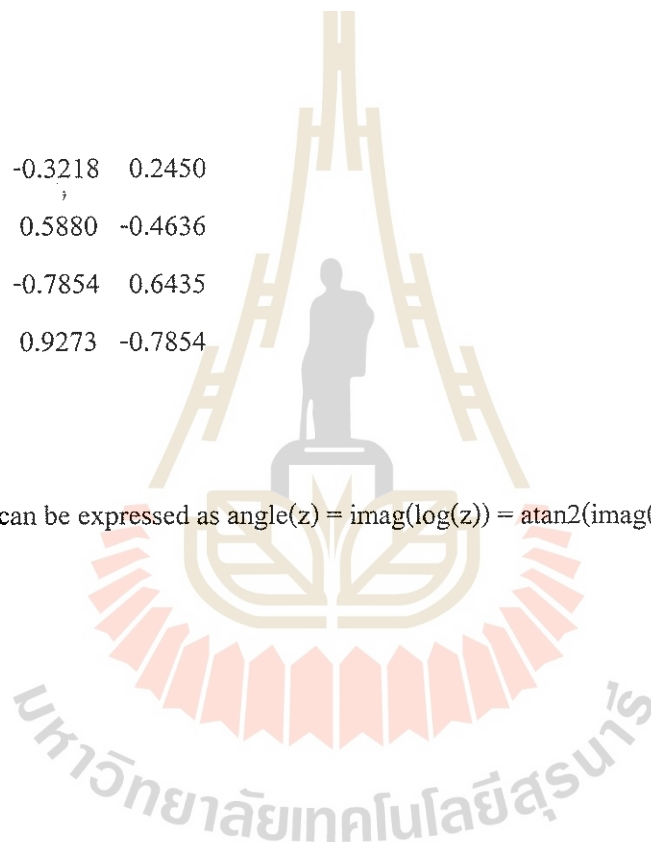
$P = \text{angle}(Z)$

$P =$

$$\begin{bmatrix} -0.7854 & 0.4636 & -0.3218 & 0.2450 \\ 1.1071 & -0.7854 & 0.5880 & -0.4636 \\ -1.2490 & 0.9828 & -0.7854 & 0.6435 \\ 1.3258 & -1.1071 & 0.9273 & -0.7854 \end{bmatrix}$$

Algorithm

The angle function can be expressed as  $\text{angle}(z) = \text{imag}(\log(z)) = \text{atan2}(\text{imag}(z), \text{real}(z))$ .





ภาคผนวก ง.

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

## ข้อมูลประกอบการใช้งาน ARM7024 ไมโครคอนโทรลเลอร์

### ET-BASE ARM7024 (ADUC7024)

ET-BASE ARM7024 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM7 ขนาด 64 Pin ซึ่งเลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ADUC7024 ของ Analog Device เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย MCU รุ่นนี้จะ บรรจุอยู่ในตัวถังแบบ 64 Pin LQFP โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่น คือ ความสามารถในการเชื่อมต่อกับสัญญาณแบบ Analog ซึ่งมีทั้ง ADC ขนาด 12บิต จำนวน 10 ช่อง และ DAC ขนาด 12บิต จำนวน 2 ช่อง นอกจากนี้แล้วความสามารถทางด้านของความเร็ว ในการประมวลผลก็ถือว่าไม่ด้อยกว่าตัวอื่นๆ ซึ่งสามารถ ทำงานได้ด้วยความเร็วสูงสุด 41.78 MHz โดยใช้ XTAL 32.768KHz ร่วมกับวงจรล็อคความถี่แบบ Phase Lock Loop ภายในตัว MCU นอกจากนี้แล้วยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการ ใช้งาน ไม่ว่าจะเป็น หน่วยความจำ โปรแกรมแบบ Flash ขนาด 62 KByte และหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM ซึ่งมีมากถึง 8 KByte ส่วนในด้านของอุปกรณ์ Peripheral นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไป ประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆ ได้เป็นอย่างดี โดยจะมีทั้ง SPI, UART, Watchdog, Timer/Counter, PWM โดยการออกแบบ โครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่อง ขนาดของ บอร์ดให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้ ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนา โปรแกรม

### คุณสมบัติของบอร์ด

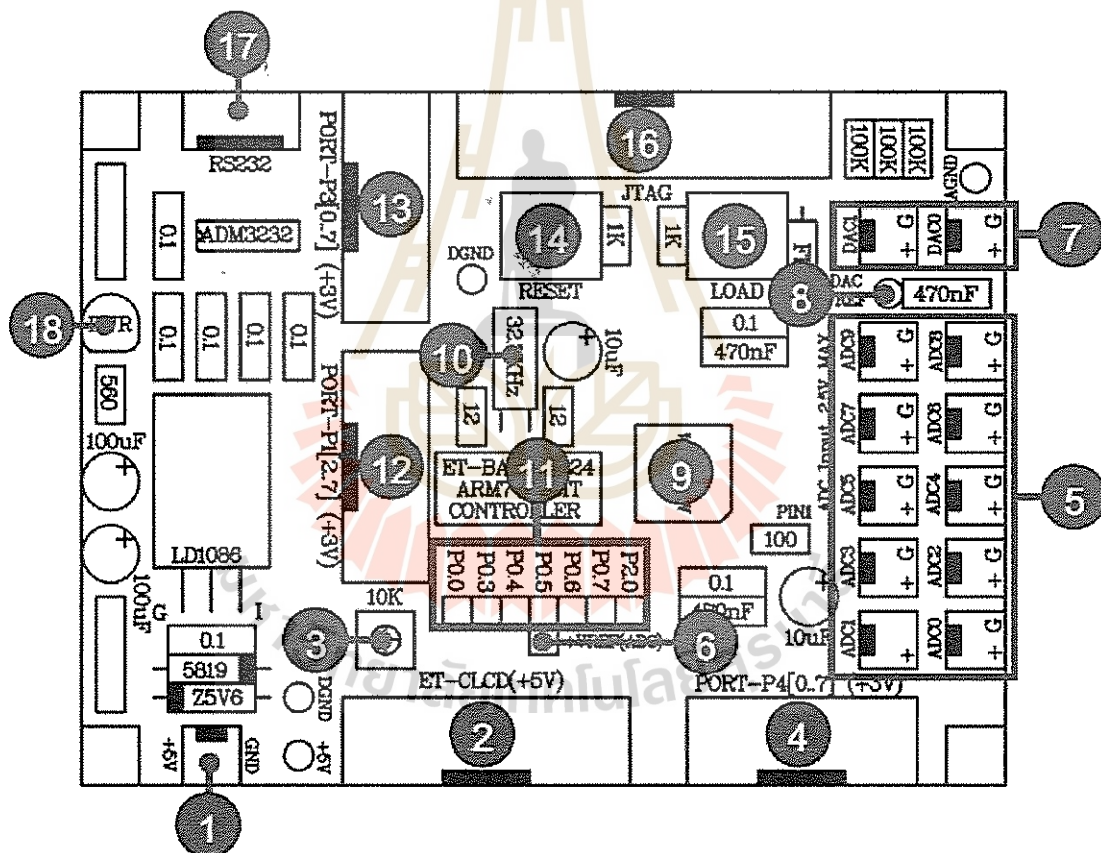
■ เลือกใช้ MCU ตระกูล ARM7 TDMI Core เบอร์ ADUC7024 ของ Analog Device เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ XTAL ค่า 32.768 KHz ซึ่งสามารถกำหนดการทำงานร่วมกับ Phase Lock Loop ให้ MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็ว สูงสุดที่ 41.78 MHz ได้ด้วย โดยคุณสมบัติเด่นๆ ของ MCU ได้แก่

- มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 62KByte และมี RAM ขนาด 8Kbyte
- มีพอร์ต I/O จำนวน 5 พอร์ตคือ P0(6Bit),P1(8Bit),P2(1Bit),P3(8Bit) และ P4(8Bit)
- มีวงจรสื่อสารอนุกรม UART จำนวน 1 พอร์ต และมีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 พอร์ต
- มีวงจร Timer/Counter จำนวน 4 ชุด
- มีวงจร ADC ขนาด 12บิต จำนวน 10 ช่อง และ DAC ขนาด 12 บิต จำนวน 2 ช่อง

มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, PWM

- มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ TTL แบบ Header 2x5 จำนวน 3 ชุด (P1,P3 และ P4)
- มีขั้วต่อ LCD แบบ Header 2x7 รองรับการเชื่อมต่อกับ LCD Character (เชื่อมต่อแบบ 4 บิต)
- มีขั้วต่อใช้งาน RS232 สำหรับใช้งาน และ สำหรับ Download ผ่าน RS232
- ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +5VDC ร่วมกับ Regulate 3.3V on Board พร้อม LED สถานะ Power
- ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 x 6 cm.

### โครงสร้างบอร์ด ET-BASE ARM7024 (ADUc7024)



- หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรของบอร์ด ใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง +5VDC
- หมายเลข 2 คือ Port-LCD ชนิด Character Type ใช้การเชื่อมต่อแบบ 4 บิต ผ่าน Port-P4[0..6]
- หมายเลข 3 คือ ตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความสว่างให้ LCD

- หมายเลข 4 คือ Port-P4 มี ขนาด 8 Bit คือ P4[0..7]
- หมายเลข 5 คือ ขั้วต่อ ADC จำนวน 10 ช่อง คือ ADC[0..9]
- หมายเลข 6 คือ จุดต่อแรงดันอ้างอิงให้ ADC จากภายนอก
- หมายเลข 7 คือ ขั้วต่อ DAC จำนวน 2 ช่อง คือ DAC[0..1]
- หมายเลข 8 คือ จุดต่อแรงดันอ้างอิงให้ DAC จากภายนอก
- หมายเลข 9 คือ MCU เบอร์ ADUc7024 ซึ่งเป็น MCU ตระกูล ARM7TDMI จาก Analog Device
- หมายเลข 10 คือ Crystal ค่า 32.768 KHz
- หมายเลข 11 คือ Port-P0 มี ขนาด 6 Bit คือ P0[0,3,4,5,6,7] และ Port-P2 มี 1 บิต คือ P2[0]
- หมายเลข 12 คือ Port-P1 มี ขนาด 6 Bit คือ P1[2..7]
- หมายเลข 13 คือ Port-P3 มี ขนาด 8 Bit คือ P3[0..7]
- หมายเลข 14 คือ Switch RESET ใช้สำหรับ Reset การทำงานของ CPU
- หมายเลข 15 คือ Switch LOAD ใช้ร่วมกับ RESET สำหรับตั้ง Download HEX ให้ MCU
- หมายเลข 16 คือ ขั้วต่อ ARM-JTAG สำหรับ Debug โปรแกรม
- หมายเลข 17 คือ ขั้วต่อ RS232 สำหรับใช้งานทั่วไป และ Download HEX ให้ MCU
- หมายเลข 18 คือ LED Power ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ +5VDC

### ขั้วต่อสัญญาณต่างๆ

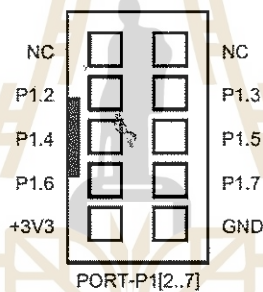
สำหรับขั้วต่อสัญญาณของพอร์ต I/O จาก MCU นั้นจะถูกออกแบบ และจัดเตรียม ไว้ผ่านทางขั้วต่อ แบบ IDE Header ขนาด 10Pin (2x5) จำนวน 3 ชุด คือ PORT-P1, PORT-P3 และ PORT-P4 ตามลำดับ ส่วน PORT-P0 และ PORT-P2 นั้นจะต่อเป็น Header ขนาด 1x7 ไว้ โดยที่ขั้วต่อสัญญาณแต่ละชุด จะประกอบไปด้วยสัญญาณของ I/O ที่เชื่อมต่อมาจากขาสัญญาณ ของ MCU โดยตรงทั้งหมด โดยจุดเชื่อมต่อกับ สัญญาณ ภายนอกของบอร์ด มีดังนี้

- ขั้วต่อแหล่งจ่ายขนาด +5VDC
- ขั้วต่อ PORT-P0 มี 6 บิต คือ P0[0,3,4,5,6,7]
- ขั้วต่อ PORT-P1 มี 6 บิต คือ P1[2,3,4,5,6,7] ส่วน P1.0 และ P1.1 จะจะถูกเชื่อมต่อผ่านวงจร Line Driver (MAX232) สำหรับแปลงระดับสัญญาณจากระดับลอจิก TTL ของ MCU ให้เป็นสัญญาณ แรงดันตามมาตรฐานของ RS232 โดยสัญญาณที่ได้รับการแปลง เป็นแบบ RS232 จะถูกเชื่อมต่อไป รอไว้ที่ขั้วต่อแบบ CPA ขนาด 4 PIN (RS232)

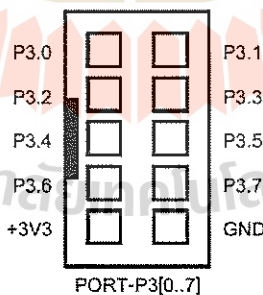


- ขั้วต่อ PORT-P2 มีขนาด 1 บิต คือ P2.0
- ขั้วต่อ PORT-P3 มีขนาด 8 บิต คือ P2[0,1,2,3,4,5,6,7]
- ขั้วต่อ PORT-P4 มีขนาด 8 บิต คือ P4[0,1,2,3,4,5,6,7] โดยมีการต่อสัญญาณไปยังขั้ว LCD ด้วยจำนวน 7 บิต คือ P4[0,1,2,3,4,5,6] ตามลำดับ
- ขั้วต่อ ADC มีขนาด 10 ช่อง คือ ADC0-ADC9 โดยรับสัญญาณ Analog ได้ระหว่าง 0-2.5V
- จุดรับแรงดันอ้างอิงของ DAC (DAC Reference) จากภายนอกขนาด 0-3V
- ขั้วต่อ DAC มีขนาด 2 ช่อง คือ DAC0, DAC1 โดยสามารถสร้างสัญญาณ Analog ได้ 0-2.5V
- จุดรับแรงดันอ้างอิงของ ADC (+Vref ADC) จากภายนอกขนาด 0-2.5V
- ขั้วต่อ ARM-JTAG
- ขั้วต่อสัญญาณ RS232

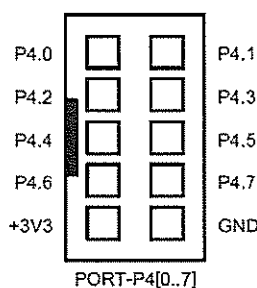
พอร์ต P1 มีขนาด 6 บิต



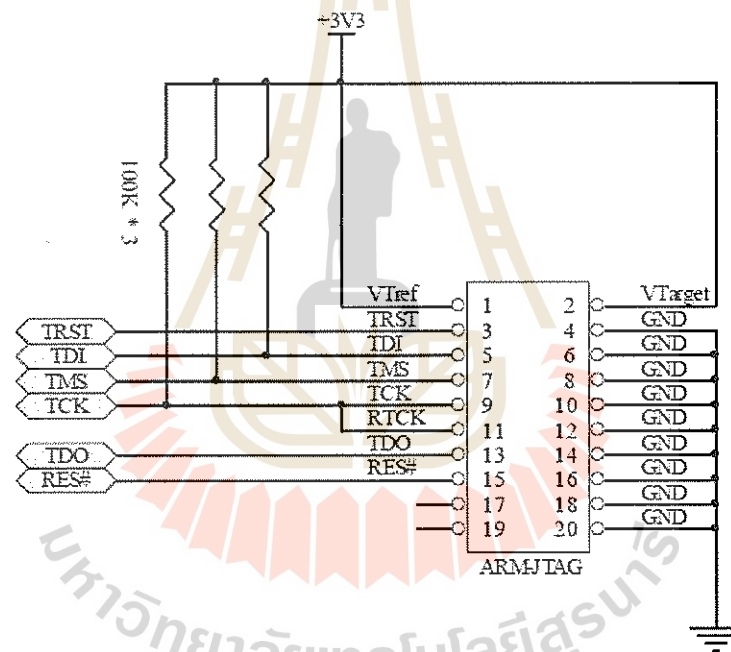
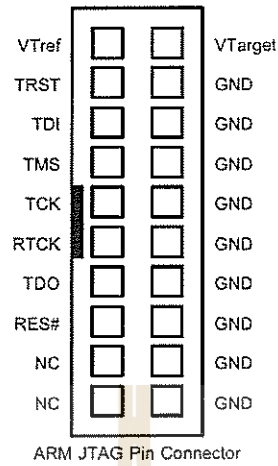
พอร์ต P3 มีขนาด 8 บิต



พอร์ต P4 มีขนาด 8 บิต

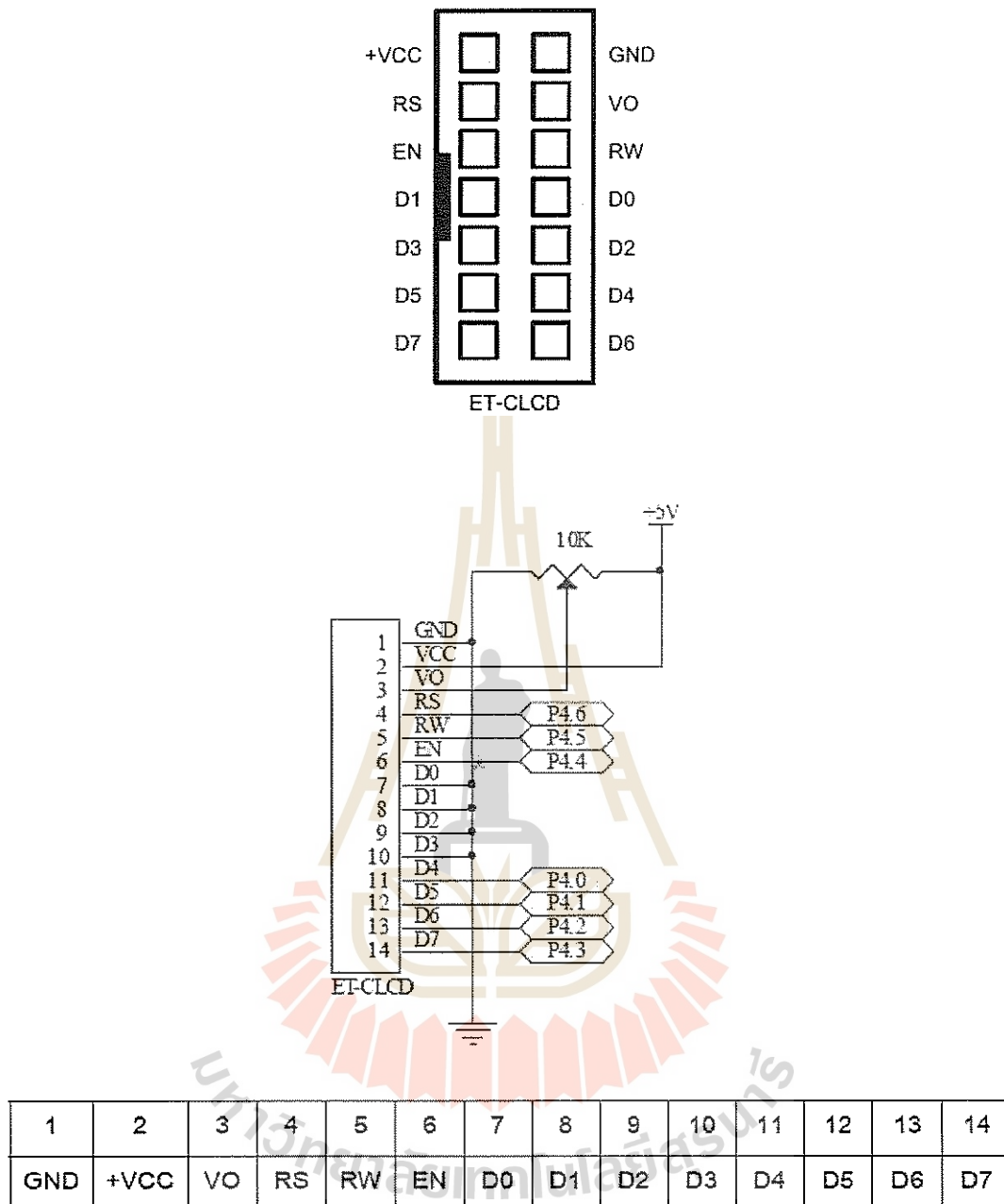


## พอร์ต ARM-JTAG



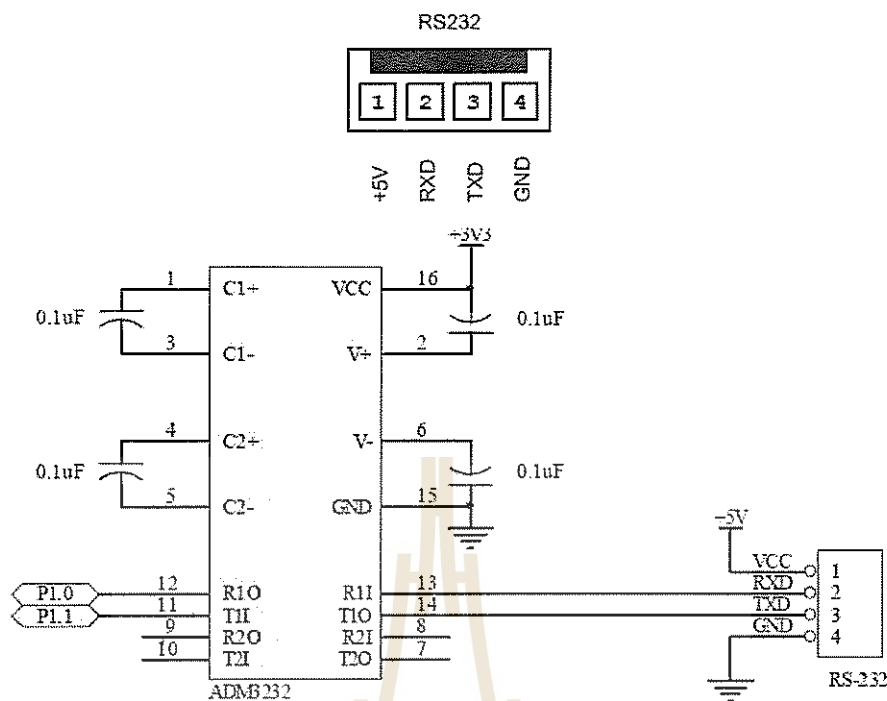
### รูปวงจรส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ ARM-JTAG

พอร์ต CLCD ใช้กับ Character LCD โดยเชื่อมต่อแบบ 4 บิต โดยสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อกับ LCD จะเป็นสัญญาณชุดเดียวกับที่ต่อไปยังขั้วต่อ ของ PORT-P4 โดยในการเชื่อมต่อสายสัญญาณ จาก ขั้วต่อของพอร์ต LCD ไปยังจอแสดงผล LCD นั้นให้ยึดชื่อสัญญาณเป็นจุดอ้างอิง โดยให้ต่อ สัญญาณที่มีชื่อตรงกันเข้าด้วยกันให้ครบทั้ง 14 เส้น



### การจัดเรียงขาสัญญาณของ Character LCD มาตรฐาน

พอร์ต RS232 เป็นสัญญาณ RS232 ซึ่งผ่านวงจรแปลงระดับสัญญาณ MAX232 เรียบร้อยแล้วสามารถใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณ RS232 เพื่อรับส่งข้อมูล นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้งานร่วมกับ Switch PSEN และ Switch RESET เพื่อทำการ Download แบบ Manual ได้ด้วย

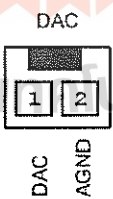


รูปวงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ RS232

ขั้วต่อ ADC0 – ADC9



ขั้วต่อ DAC0 และ DAC1

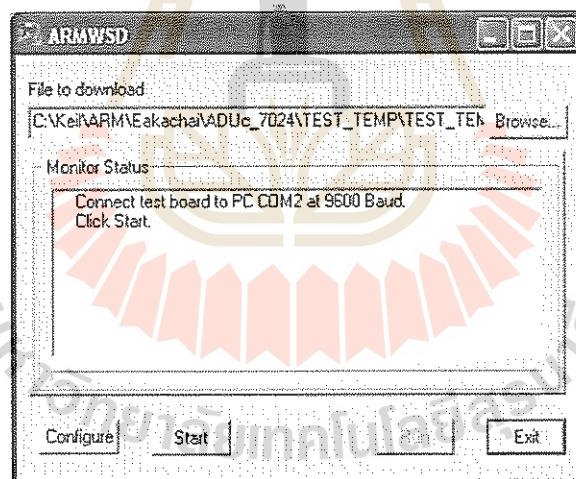


การ Download Hex file ให้กับ MCU ของบอร์ด

การ Download Hex File ให้กับหน่วยความจำ Flash ของ MCU ในบอร์ดนั้น จะใช้โปรแกรม ชื่อ “ ARMWSD ” ของ Analog Device ซึ่งจะติดต่อกับ MCU ผ่าน Serial Port ของคอมพิวเตอร์ PC โดย โปรแกรมดังกล่าวสามารถดาวน์โหลดได้จาก WWW.ANALOG.COM โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ แต่สำหรับในกรณีที่ซื้อบอร์ดจากอีทีทีนั้น โปรแกรมดังกล่าวจะจัด เตรียมไว้ให้ในแผ่น CD ROM อยู่แล้ว โปรแกรม ARMWSD (ARM Windows Serial Download) เป็นโปรแกรม

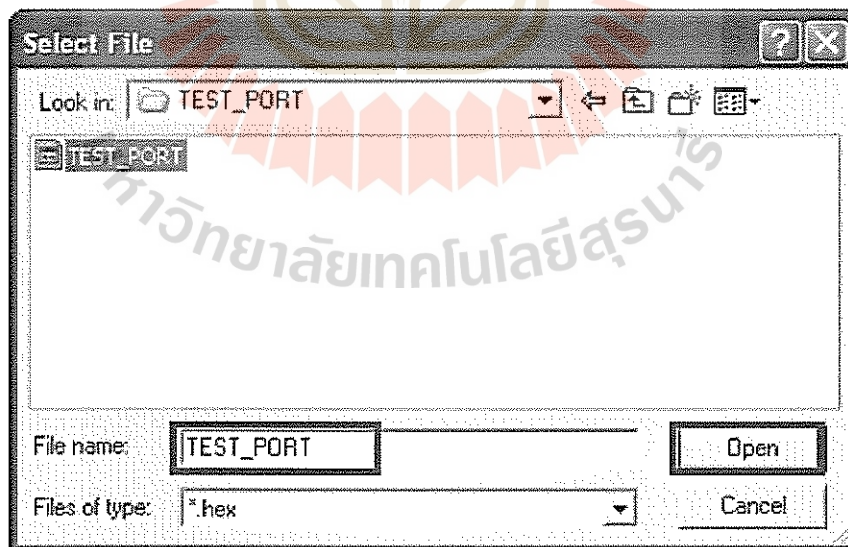
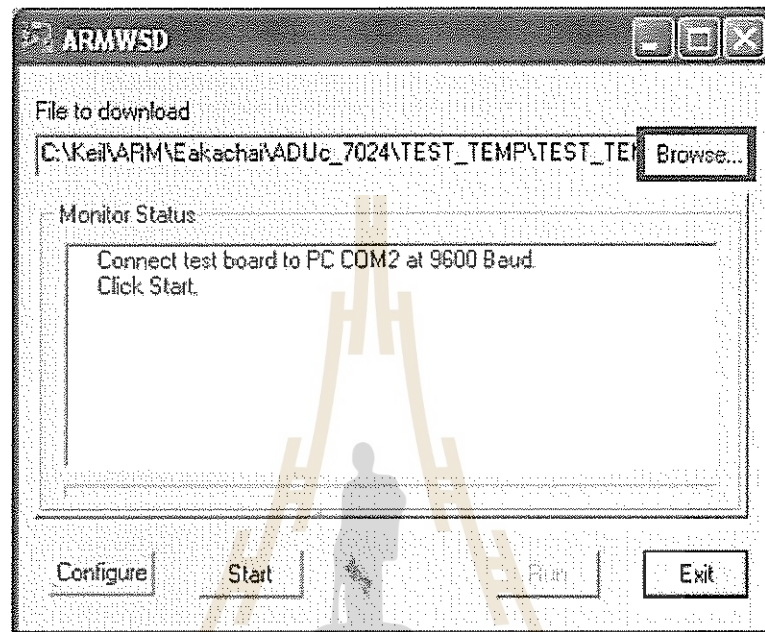
สำหรับพัฒนาระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM ของ Analog Device โดยสามารถสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล ARM7 ที่ผลิต โดย Analog Device ได้หลายเบอร์ รวมถึง ADUc7024 ด้วย โดยโปรแกรมจะทำงานภายใต้ ระบบปฏิบัติการของ Windows9X/Me/NT/2000 และ Windows XP โดยสนับสนุน การเชื่อมต่อ กับระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ การเชื่อมต่อแบบ RS232 โดยโปรแกรม ARMWSD จะใช้สำหรับ Download ข้อมูลให้กับ หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานใน Monitor Mode สำหรับบอร์ด รุ่น ET-BASE ARM7024 (ADUc7024) นั้น การที่จะตั้ง Reset ให้ CPU เข้าทำงานใน Monitor Mode เพื่อตั้ง Download HEX File จาก PC ให้กับบอร์ดสามารถทำได้ตามขั้นตอน ต่อไปนี้คือ

1. ต่อสายสัญญาณ RS232 จาก Com Port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว RS232 แบบ 4 Pin ของบอร์ด
2. จ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้บอร์ด ซึ่งจะสังเกตเห็น LED แสดงสถานะของ PWR สีแดงติดสว่างให้เห็น
3. สั่ง Run โปรแกรม “ ARMWSD ” ซึ่งจะแสดงผลดังรูป

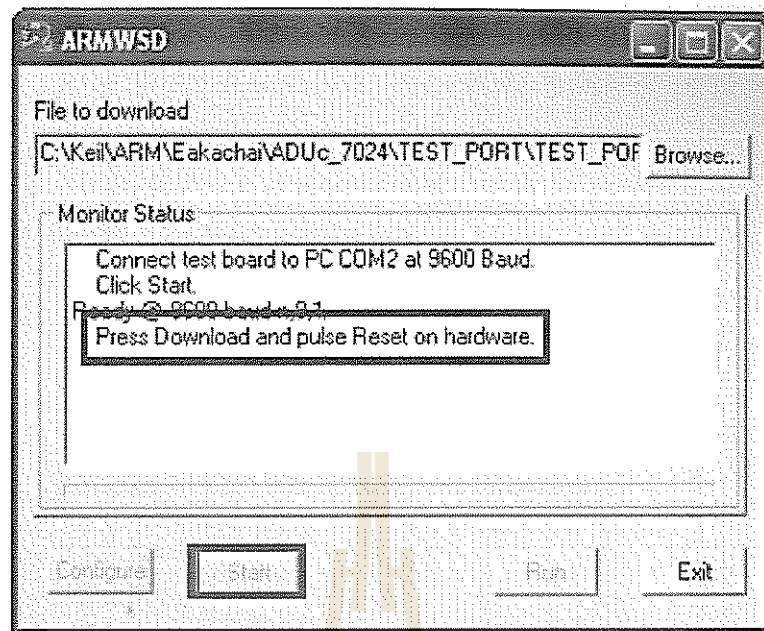


4. ตั้งเลือกกำหนดการเชื่อมต่อกับพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ให้ตรงตามเงื่อนไขที่ใช้อยู่จริง โดยให้คลิกเมาส์ที่ปุ่ม “ Configure ” แล้วเลือกกำหนดหมายเลข Comport ให้ถูกต้องดังตัวอย่าง

5. สั่งเปิด Hex File ที่ต้องการจะ Download ให้กับ MCU มารอไว้ใน Buffer ของโปรแกรม โดยให้คลิกเมาส์ที่ปุ่ม “ Browse...” แล้วเลือกกำหนดชื่อ HEX File ให้ถูกต้องเรียบร้อยแล้ว ดังตัวอย่าง



6. คลิกเมาส์ที่ปุ่ม Start เพื่อสั่งโปรแกรมให้เริ่มการ Download โดยโปรแกรมจะตอบรับการทำงาน โดยจะมีข้อความ บอกให้ผู้ใช้รีเซ็ต MCU ให้ทำงานใน Monitor Mode ดังรูป

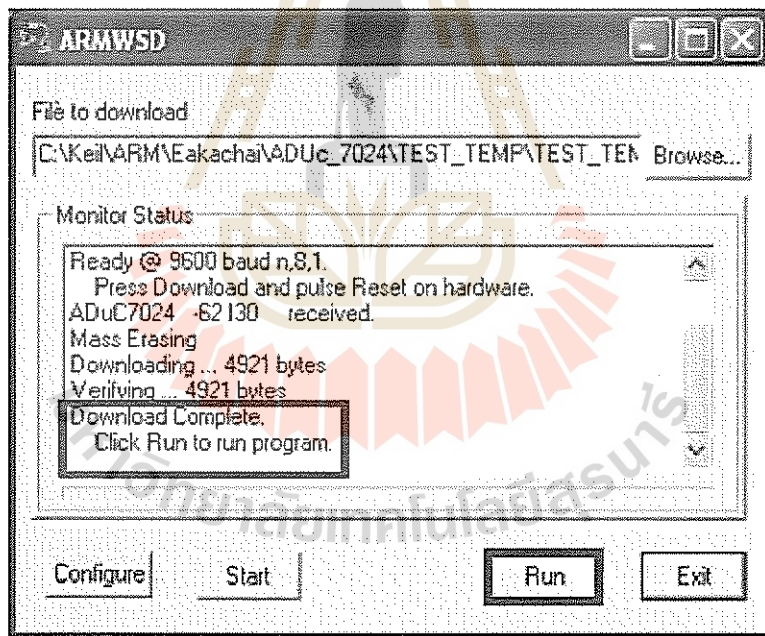
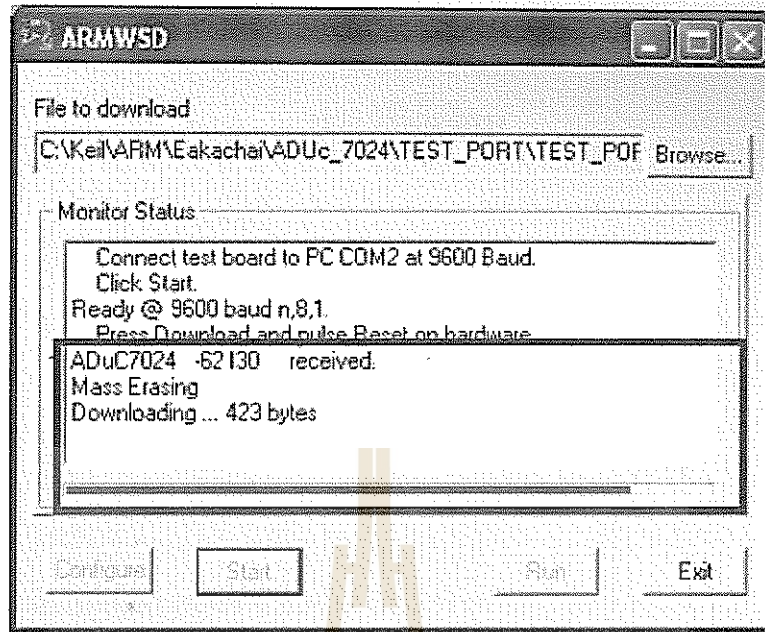


7. ให้ผู้ใช้ทำการรีเซ็ต MCU ให้เข้าทำงานใน Monitor โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- a) กดสวิตช์ LOAD ค้างไว้เพื่อกำหนดสถานะขาสัญญาณ P0.0 (BM) ให้เป็น “ 0
- b) กดสวิตช์ RESET เพื่อส่งสัญญาณ RESET ให้กับ MCU โดยสวิตช์ LOAD ต้องกดค้างอยู่เช่นเดิม
- c) ปล่อยสวิตช์ RESET เพื่อปล่อยให้ MCU พ้นจากสภาวะการ Reset (สวิตช์ LOAD ยังกดค้างอยู่)
- d) ปล่อยสวิตช์ LOAD เป็นลำดับสุดท้าย

8. ถ้าทุกอย่างถูกต้อง โปรแกรมจะเริ่มดำเนินการ Download HEX File ให้กับ MCU ทันที ซึ่งในขั้นตอนนี้ให้รอจนการทำงานของโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงคลิกเมาส์ที่ปุ่ม “ Run ” หรือกดสวิตช์ RESET ที่บอร์ด เพื่อให้ MCU เริ่มต้นทำงานตามโปรแกรมที่ Download ให้ดังรูป





## ประวัติผู้เขียน

นางสาวพิกุล ประวัติศรี เกิดเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2520 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัด นครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2542 เมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วได้เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัย ที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต่อจากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกร-1 (2545-2553) ที่ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา และปัจจุบัน (2553) ทำงาน ใน ตำแหน่งวิศวกร บริษัทซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และศึกษาต่อในระดับ ปริญญาโทใน หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

