

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ3เฟส

Data Acquisition and Monitoring of 3 Phase Inverter Fed Induction Motor



นายชัยรัตน์  
นายทศพล  
นายธานี  
นายณพดล  
ถาวรงามยิ่งสกุล  
ฉันทะยิ่งยง  
วุฒิรัตน์ธาดา  
ยมแก้ว

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 61970  
วัน,เดือน,ปี... 25 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส  
Data Acquisition and Monitoring of 3 Phase Inverter Fed Induction Motor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส  
Data Acquisition and Monitoring of 3 Phase Inverter Fed Induction Motor

ผู้จัดทำ

- |                |                 |                       |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| 1. นายชัชรัตน์ | ถาวรงามยิ่งสกุล | รหัสประจำตัว 44010107 |
| 2. นายทศพล     | ฉันทะยิ่งยง     | รหัสประจำตัว 44010180 |
| 3. นายธานี     | วุฒิรัตน์ธาดา   | รหัสประจำตัว 44010214 |
| 4. นายนพพล     | ยมแก้ว          | รหัสประจำตัว 44010235 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

นายชัยรัตน์	ถาวรงามยิ่งสกุล	44010107
นายทศพล	ฉันทะยิ่งยง	44010180
นายธานี	วุฒิรัตน์ธาดา	44010214
นายนพดล	ยมแก้ว	44010235
รศ.ดร.วิจิตร	กิมเรศ	อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ชัยทัต	มณีอินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547		

### บทคัดย่อ

โครงการเกี่ยวกับการบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส การวัดสัญญาณแรงดันและรูปคลื่นของกระแส โดยใช้วิธีการลดทอนค่าให้น้อยลงโดยวิธีแบ่งแรงดัน และใช้ตัวลดทอนกระแส (LEM) ตามลำดับ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดทางไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยเราจะใช้บอร์ดที่มี ไอซี ADC ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลแล้วจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการนำข้อมูลที่ได้อ่านไปประมวลผลยังคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา ASSEMBLY ในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมเข้าคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมที่ใช้คำนวณภายในคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรม DELPHI 5 ในการคำนวณหาค่าแรงบิดทางไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแล้วแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

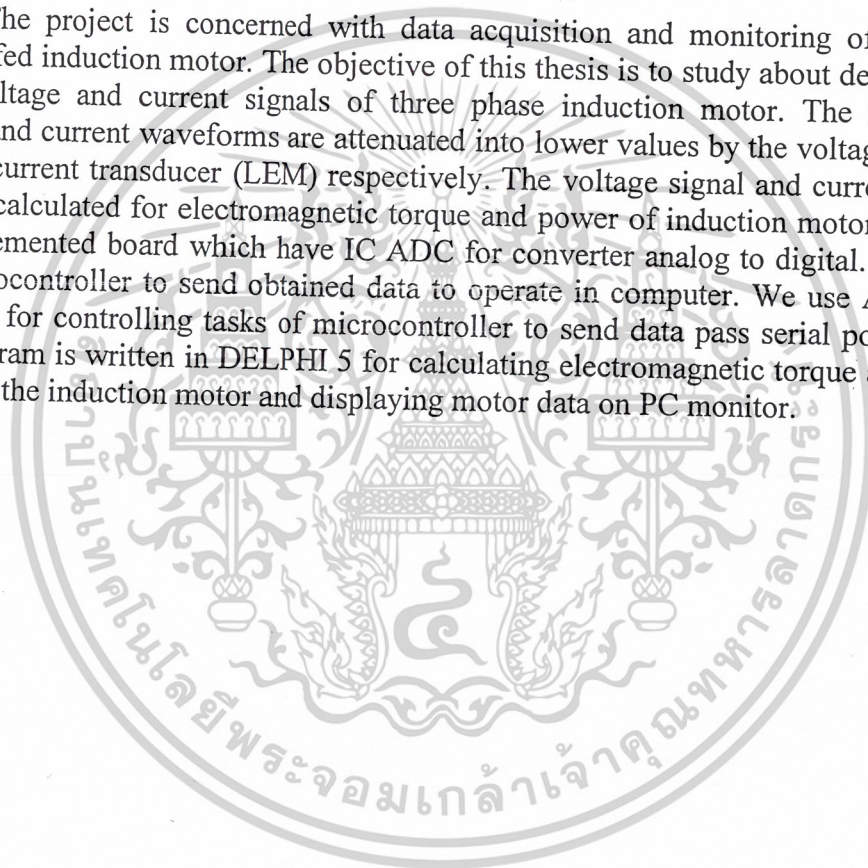
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Data Acquisition and Monitoring of 3 Phase Inverter Fed Induction Motor

Chairat	Thawornngamyingsakul
Tossapon	Chanthayingyong
Thanee	Wutthirathada
Noppadol	Yomkaew
Assoc.Prof.Dr.Vijit	Kinnares Advisor
Mr.Chaitouch	Manee-in Advisor
2004	

### ABSTRACT

The project is concerned with data acquisition and monitoring of 3 phase inverter fed induction motor. The objective of this thesis is to study about detection of input voltage and current signals of three phase induction motor. The measured voltage and current waveforms are attenuated into lower values by the voltage divider and the current transducer (LEM) respectively. The voltage signal and current signal are also calculated for electromagnetic torque and power of induction motor. We use the implemented board which have IC ADC for converter analog to digital. Then we use microcontroller to send obtained data to operate in computer. We use Assembly language for controlling tasks of microcontroller to send data pass serial port to PC. The program is written in DELPHI 5 for calculating electromagnetic torque and input power of the induction motor and displaying motor data on PC monitor.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ และอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรนี้ ขอขอบคุณพี่จ๊อบ พี่แจ๊ค พี่มิน พี่เบิร์ต และพี่ๆ ที่กำลังศึกษาปริญญาโท ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	3
2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1.1 หลักการทำงาน (Principle of operations)	3
2.1.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Three Phase Induction Motor Equivalent Circuit)	4
2.1.3 กำลังและแรงบิด (Power and Torque Characteristics)	7
2.1.4 การทดสอบมอเตอร์ ( Three Phase Induction motor Tests)	9
2.1.5 การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Operations of Three Phase Induction motor)	11
2.2 อินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	13
2.3 การวิเคราะห์หาค่าแรงบิดและกำลังต่างๆ	18
2.3.1 สมการทางวิศวกรรม	18
2.3.2 การทดสอบมอเตอร์	20
บทที่ 3 การคำนวณการสร้างและการออกแบบ	21
3.1 การทำงานของโครงการ	21
3.2 การตรวจจับกระแส (Current detector )	23
3.3 การตรวจจับแรงดัน ( Voltage detector )	23
3.4 ทฤษฎีการสุมและการแปลงสัญญาณ	24
3.4.1 ทฤษฎีการสุมสัญญาณ	24
3.4.2 อัตราการสุมสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.4.3 การสุมสัญญาณแบบสมมาตร	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.5 คุณสมบัติของ ADC	29
3.5.1 สมการอินพุท-เอาท์พุท	29
3.6 การคำนวณ	31
3.7 การสื่อสารแบบอนุกรม ( Serial Communication )	31
3.7.1 ลักษณะของการสื่อสารตามมาตรฐาน	32
3.7.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	32
3.7.3 คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ	33
บทที่ 4 การจำลองการทำงาน	36
4.1 การจำลองระบบโครงสร้างด้วย Matlab	36
บทที่ 5 ผลการทดลอง	39
5.1 ลักษณะมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	39
5.2 พิจารณาสัญญาณ sine	40
5.3 พิจารณาสัญญาณ PWM	47
5.4 การพิจารณาค่ากำลังที่ได้กับเครื่อง PZ4000 power meter	54
บทที่ 6 บทวิจารณ์และบทสรุป	57
6.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์	57
6.1.1 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	57
6.1.2 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน	58
6.1.3 วงจรยกระดับแรงดัน	58
6.1.4 วงจรแปลงสัญญาณและประมวลผล	59
6.2 ส่วนของโปรแกรม	59
6.2.1 ส่วนของโปรแกรมประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์	59
6.2.2 ส่วนของโปรแกรมประมวลผลในคอมพิวเตอร์	59
ภาคผนวก โปรแกรมการคำนวณและแสดงผล	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	3
รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของโรเตอร์ 2 รูปแบบ	5
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของสเตเตอร์	6
รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาด้านสเตเตอร์	6
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาค่า core loss คงที่ และนำไปคิดรวมกับการสูญเสียทางกล	7
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้พิจารณาค่ากำลังไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการพิจารณาหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	8
รูปที่ 2.8 กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	9
รูปที่ 2.9 วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ No-load	9
รูปที่ 2.10 วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ Block-rotor	10
รูปที่ 2.11 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยเปลี่ยนความถี่ของไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนค่าความถี่ และแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วเมื่อปรับความเร็วมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนค่าสลิป	13
รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ และนำไปคิดรวมกับการสูญเสียทางกล	13
รูปที่ 2.15 ชนิดของ Variable-Frequency Converters	14
รูปที่ 2.16 PWM-VSI (a) โครงสร้างของ PWM-VSI (b) รูปคลื่นของ PWM-VSI	15
รูปที่ 2.17 (a) ลักษณะสัญญาณของ Square-Wave VSI (b) ผลของฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น	16
รูปที่ 2.18 ลักษณะวงจรและสัญญาณของ DSI	17
รูปที่ 2.19 แสดงการเปลี่ยนระบบ 3 เฟส 3 แกนเป็น 2 แกน	18
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมการหาค่าฟลักซ์	19
รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมการหาค่าแรงบิด	19
รูปที่ 2.22 แสดงการใส่และการวัดแรงบิดของภาระ	20
รูปที่ 3.1 Block Diagram การทำงานของโครงงาน	21
รูปที่ 3.2 โครงสร้างวงจรของโครงงาน	22
รูปที่ 3.3 โครงสร้างการรับสัญญาณจากมอเตอร์	22
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรตรวจจับกระแส	23
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจจับแรงดัน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 3.6 แสดงการสุ่มสัญญาณ $X(t)$	25
รูปที่ 3.7 สัญญาณมอดูเลตระหว่าง $X(t)$ กับ $p(t)$	25
รูปที่ 3.8 Fourier Transform ของ สัญญาณ	26
รูปที่ 3.9 สเปกตรัมของสัญญาณที่มีค่า $f_s - f_m < f_m$	27
รูปที่ 3.10 การสุ่มสัญญาณไซน์ด้วยความถี่ต่างๆกัน	28
รูปที่ 3.11 วงจร ADC	30
รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการคำนวณ	31
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบอนุกรม	31
รูปที่ 3.14 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม	32
รูปที่ 3.15 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25	33
รูปที่ 3.16 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ	35
รูปที่ 4.1 การจำลองระบบโดยรวม	36
รูปที่ 4.2 แบบจำลองการสร้างสัญญาณ PWM	36
รูปที่ 4.3 แบบจำลองการหาค่า $I_d$ และ $I_q$	37
รูปที่ 4.4 แบบจำลองการหาค่า $V_d$ และ $V_q$	37
รูปที่ 4.5 แบบจำลองการหาค่า $\psi_d$ และ $\psi_q$	38
รูปที่ 4.6 แบบจำลองการหาค่ากำลัง	38
รูปที่ 4.7 แบบจำลองการหาค่าแรงบิด	38
รูปที่ 5.1 สัญญาณของมอเตอร์ 3 เฟสที่ได้จากเครื่อง PZ4000 power meter	39
รูปที่ 5.2 สัญญาณแรงดัน $V_{ac}, V_{ba}$ ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	40
รูปที่ 5.3 สัญญาณแรงดัน $V_{ac}, V_{ba}$ ที่ได้จาก Matlab	40
รูปที่ 5.4 สัญญาณกระแส $I_a, I_b$ ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	41
รูปที่ 5.5 สัญญาณกระแส $I_a, I_b$ ที่ได้จาก Matlab	41
รูปที่ 5.6 สัญญาณแรงดัน $V_d, V_q$ ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	42
รูปที่ 5.7 สัญญาณแรงดัน $V_d, V_q$ ที่ได้จาก Matlab	42
รูปที่ 5.8 สัญญาณกระแส $I_d, I_q$ ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	43
รูปที่ 5.9 สัญญาณกระแส $I_d, I_q$ ที่ได้จาก Matlab	43
รูปที่ 5.10 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	44
รูปที่ 5.11 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้จาก Matlab	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 5.12 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	45
รูปที่ 5.13 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้า ที่ได้จาก Matlab	45
รูปที่ 5.14 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	46
รูปที่ 5.15 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab	46
รูปที่ 5.16 สัญญาณแรงดัน (PWM)Vac,Vba ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	47
รูปที่ 5.17 สัญญาณแรงดัน (PWM)Vac,Vba ที่ได้จาก Matlab	47
รูปที่ 5.18 สัญญาณกระแส (PWM) Ia,Ib ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	48
รูปที่ 5.19 สัญญาณกระแส (PWM) Ia,Ib ที่ได้จาก Matlab	48
รูปที่ 5.20 สัญญาณแรงดัน (PWM)Vd,Vq ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	49
รูปที่ 5.21 สัญญาณแรงดัน (PWM)Vd,Vq ที่ได้จาก Matlab	49
รูปที่ 5.22 สัญญาณกระแส (PWM) Id, Iq ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	50
รูปที่ 5.23 สัญญาณกระแส (PWM) Id, Iq ที่ได้จาก Matlab	50
รูปที่ 5.24 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	51
รูปที่ 5.25 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้า ที่ได้จาก Matlab	51
รูปที่ 5.26 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	52
รูปที่ 5.27 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้จาก Matlab	52
รูปที่ 5.28 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์	53
รูปที่ 5.29 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab	53
รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นรูปคลื่น sine	55
รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 30 Hz	55
รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 40 Hz	56
รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 50 Hz	56
รูปที่ 6.1 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	57
รูปที่ 6.2 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน	58
รูปที่ 6.3 วงจรยกระดับแรงดัน	58
รูปที่ 6.4 วงจรแปลงสัญญาณและประมวลผล	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้าที่	
ตารางที่ 3.1	การวัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25	34
ตารางที่ 5.1	ค่าเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นรูปคลื่น sine	54
ตารางที่ 5.2	ค่าเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 30 Hz	54
ตารางที่ 5.3	ค่าเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 40 Hz	54
ตารางที่ 5.4	ค่าเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ4000 Power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 50 Hz	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### 1.1 บทนำ

การบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นโครงการที่ทำการศึกษเกี่ยวกับการนำสัญญาณของกระแสและสัญญาณของแรงดันจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ มาวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อหาค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทางวงจรของมอเตอร์และหาค่าผลของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น โดยในโครงการนี้จะทำการประมวลผลโดย นำสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน มาหาค่าแรงบิดของมอเตอร์และค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยอาศัยหลักการของการตรวจจับสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันด้วยวงจรตรวจจับสัญญาณ จากนั้นนำมาประมวลผลเพื่อหาค่าด้วยคอมพิวเตอร์

โดยในการหาค่าแรงบิดนั้นจะอาศัยหลักการของการตรวจจับสัญญาณ โดยสัญญาณที่ได้จะมีค่าเป็น 3 เฟส จากนั้นจะใช้สมการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและแรงดันจาก 3 เฟส ให้มีค่าเป็นค่ากระแสและแรงดันที่มีค่า 2 แแกน ที่มีมุมต่างกัน 90 องศา นำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าของแรงบิดที่เกิดขึ้น การหาค่าของกำลังไฟฟ้าโดยนำสัญญาณกระแสและแรงดันไปวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อหาค่าผลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ โดยอาศัยสมการทางไฟฟ้าในการพิจารณา จากสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันเราสามารถตรวจจับได้โดยอาศัยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบไว้ แรงบิดและกำลังไฟฟ้าเราสามารถหาโดยอาศัยสมการทางวิศวกรรมไฟฟ้ามาวิเคราะห์และประมวลผล โดยใช้โปรแกรม Delphi 5 และโปรแกรม Math lab โดยข้อมูลที่จะนำมาคำนวณนั้น ได้มาจากส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการที่จะส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลทางคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม

โครงการนี้เป็นชิ้นงานที่ใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณและประมวลผลสัญญาณโดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ วงจร Analog to digital โดยค่าต่างๆที่รับมาจากมอเตอร์นั้นจะถูกแปลงให้เป็นดิจิทัลแล้วใช้ MCS-51 เป็นตัวส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวัดค่าต่างๆที่เกิดขึ้นกับอินดักชันมอเตอร์โดยไม่ต้องเข้าไปวัดค่าโดยตรง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาคูณลักษณะของสัญญาณกระแสและแรงดันของอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส
2. วิเคราะห์สัญญาณกระแสและแรงดันของอินดักชันมอเตอร์
3. เพื่อศึกษาการใช้ Delphi 5 และ Math lab ในการวิเคราะห์และประมวลผลหาค่าแรงบิดของอินดักชันมอเตอร์
4. ศึกษาการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับ real time
5. เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวัดสัญญาณ โดยไม่ต้องเข้าไปวัด เพียงแต่อยู่ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ก็สามารถวัดสัญญาณที่จุดต่างๆได้
6. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการนำสัญญาณต่างๆ มาประมวลผลและประยุกต์ใช้ในการ

ควบคุม อุปกรณ์ระยะไกล หรือที่มีอันตราย  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

การทำงานของโครงการนี้ คือ เครื่องจะรับกระแส และ แรงดัน ของมอเตอร์ และแปลงขนาดของ กระแส และ แรงดัน ให้มีค่าสมกับ Board MCS-51 และ Board MCS-51 จะนำค่าที่แปลงมาแล้ว ซึ่งเป็นสัญญาณ Analog มาแปลงเป็น สัญญาณ Digital โดยมี MCS-51 เป็นตัวควบคุมการทำงานของ Board และเมื่อมีการประมวลผลเสร็จก็จะทำการส่งค่า เข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยผ่าน serial port เมื่อข้อมูลถูกส่งผ่านเข้ามาในคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ก็จะทำการเก็บข้อมูลและนำค่ามาประมวลผลต่างๆ

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
2. ขั้นตอนการออกแบบและจัดหาวัสดุอุปกรณ์
3. ขั้นตอนการประกอบสร้างชิ้นงาน
4. ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม
5. ขั้นตอนการทดสอบข้อผิดพลาด ประเมินผล แก้ไขข้อผิดพลาดและสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกวนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

#### 2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

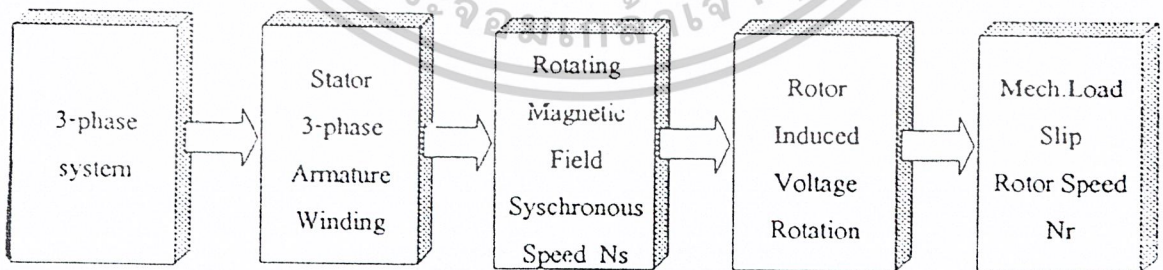
มอเตอร์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำนี้อาจเป็นแบบเฟสเดียว หรือหลายเฟสก็ได้โดยปกติแล้วมอเตอร์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำชนิดหลายเฟส (Poly phase induction motor) มักจะหมายถึงแบบ 3 เฟส ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1.แบบที่มีตัวหมุน คล้ายกรงกระรอก (Squirrel-cage rotor) ซึ่งเป็นแบบที่ไม่ต้องการใช้วงแหวนติดอยู่ที่ตัวหมุน (Slip ring) ติดอยู่ที่ตัวหมุน

2.แบบที่ตัวหมุนมีขดลวดพันอยู่รอบ ๆ (wound rotor) โดยที่ขั้วแม่เหล็กจะเกิดขึ้นบนตัวหมุนนี้จะต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับที่ (Stator) มีอยู่บนตัวอยู่กับที่ แบบนี้ต้องใช้วงแหวนติดไว้ที่บนตัวหมุนเพื่อนำปลายของขดลวดที่พันอยู่บนตัวหมุนนั้น ค่อยออกมาข้างวงจรรอบนอก หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Slip ring”

##### 2.1.1 หลักการทำงาน (Principle of Operation)

มอเตอร์เหนี่ยวนำนี้ ไม่มีวงจรไฟฟ้าต่อเชื่อมกันระหว่างตัวอยู่กับที่กับตัวหมุน กระแสที่เกิดขึ้นในตัวหมุน ที่ไหลอยู่ภายในแท่งตัวนำที่ฝังอยู่รอบ ๆ ตัวหมุนนั้น เกิดจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตัวหมุนนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุน ที่มาจากตัวอยู่กับที่ ขนาดของแรงเคลื่อนขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนตัวนำของ (Rotor) ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนตัวอยู่กับที่นี้ จะหมุนคล้ายกับการหมุนของแม่เหล็กถาวรด้วยความเร็วเท่ากับ (Synchronous) เมื่อมีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่านตัวนำบน Rotor แรงเคลื่อนนี้จะทำให้เกิดกระแสไหลในตัวนำซึ่งทำให้เกิดแรงบิด (Torque) ขึ้นที่ตัวหมุนในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กหมุนทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟรมมิ่ง ส่วนทิศทางการเคลื่อนที่หาได้จากกฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อขดลวด ได้รับแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส จะสร้างสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นมา เคลื่อนที่หมุนไปรอบห้องอากาศด้วยความเร็วเท่ากับ Synchronous speed  $N_s$  ดังสมการ

Synchronous speed

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (\text{rpm}) \quad (2-1)$$

Slip คือ อัตราส่วนของความเร็วที่เกิดจากความแตกต่างของความเร็วที่ Rotor กับความเร็วที่ Synchronous ต่อความเร็วที่ Synchronous ของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2-2)$$

เมื่อ  $S = \text{Slip}$

$N_s = \text{Synchronous speed} \quad (\text{rpm})$

$N_r = \text{Rotor speed} \quad (\text{rpm})$

Slip speed

$$SN_s = N_s - N_r \quad (\text{rpm}) \quad (2-3)$$

Rotor speed

$$N_r = (1 - S)N_s \quad (\text{rpm}) \quad (2-4)$$

Rotor frequency

$$f_r = Sf \quad (\text{Hz}) \quad (2-5)$$

ขณะเริ่มหมุน (Starting) rotor หยุดนิ่งอยู่กับที่  $S = 1$   
Rotor frequency = Stator frequency

## 2. 1. 2 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Three-Phase Induction Motor Equivalent Circuit)

เราจะสร้างแบบจำลองที่แทนคุณลักษณะของเครื่องจักร ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในรูปของวงจรไฟฟ้าโดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานทางแม่เหล็กไฟฟ้าสร้างขึ้นมา Rotor Equivalent Circuit (per phase)

จากสมการที่ 2-5 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของ Rotor จะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่า Slip ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าที่ Rotor จะขึ้นอยู่กับค่า Slip

เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดจะทำให้เกิดกระแสไหลภายในตัวหมุน และทำให้ความเร็วของตัวหมุนช้าลงไป เมื่อเป็นเช่นนั้นย่อมทำให้ค่า Slip เพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตัวหมุนเพิ่มขึ้นเป็น  $SE_2$  ส่วนค่า Leakage reactance  $X_2$  ก็เปลี่ยนเป็น  $SX_2$  ส่วนค่า  $R_2$  ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของ Slip

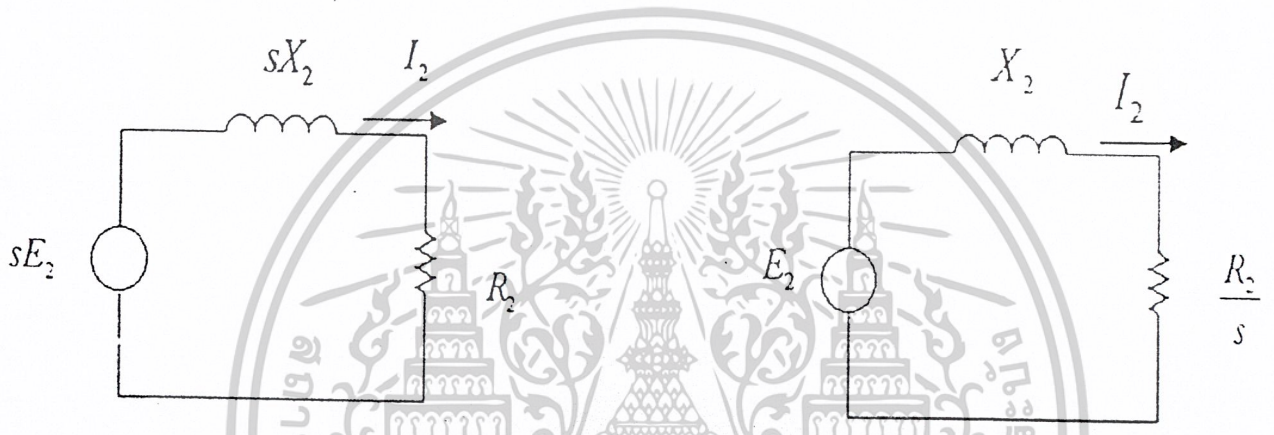
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_{2s} = SX_2 \tag{2-6}$$

$$E_{2s} = SE_2 \tag{2-7}$$

- เมื่อ  $X_{2s}$  = ค่า Leakage reactance ของ rotor ที่ค่า Slip ใด ๆ  
 $X_2$  = ค่า Leakage reactance ของ rotor ขณะหยุดนิ่ง  
 $E_{2s}$  = ค่า Induced voltage ของ rotor ที่ค่า Slip ใด ๆ  
 $E_2$  = ค่า Induced voltage ของ rotor ขณะหยุดนิ่ง

วงจรสมมูลทางไฟฟ้า per phase ของ rotor สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟส ของโรเตอร์ 2 รูปแบบ

$R_2$  = ค่า Resistance ของ rotor  
 จากรูป

Rotor current 
$$I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \tag{2-8}$$

จัดรูปสมการที่ 2-6 ใหม่ จะได้

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2/S)^2 + (X_2)^2}} \tag{2-9}$$

แสดงเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูป ข)

∴ ความต้านทานของวงจรคือ

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{S} &= R_2 + \frac{R_2}{S} - R_2 \\ &= R_2 + R_2 \frac{(1-S)}{S} \end{aligned} \tag{2.10}$$

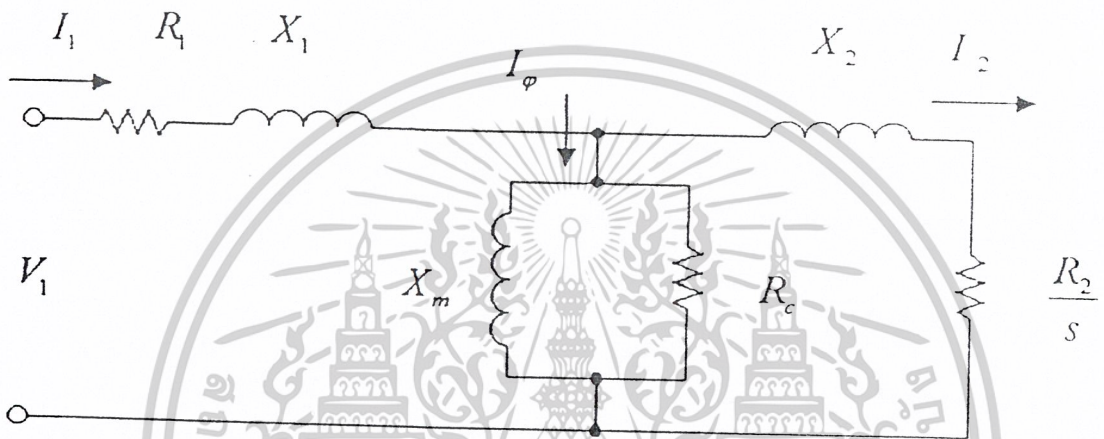
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้านทาน 2 ส่วนคือ

ส่วนแรกเป็นส่วนของความต้านทานของ Rotor คือ  $R_2$  แทนการสูญเสียของเส้นลวดใน Rotor (Cu loss) ส่วนที่สองคือค่า  $\frac{R_2(1-S)}{S}$  คือ load ความต้านทาน  $R_L$  ที่สมมูล Load ทางไฟฟ้าแทน Load ทางกลของมอเตอร์นั่นเอง

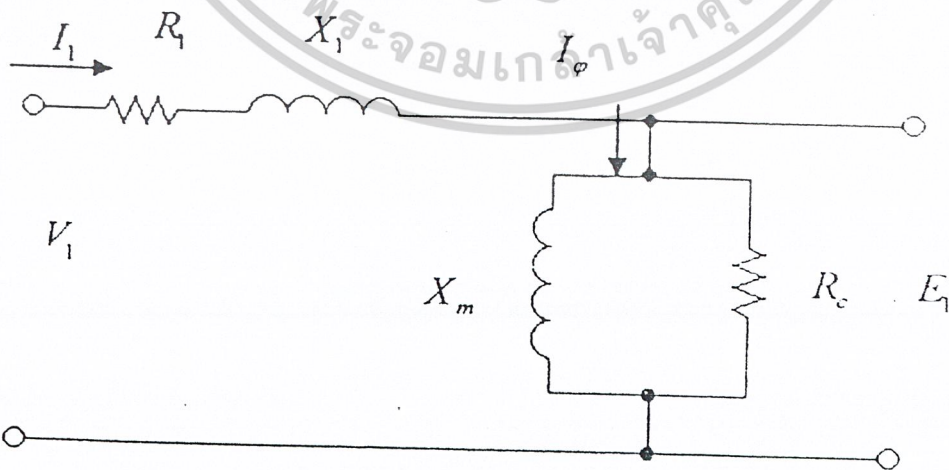
**Stator Equivalent Circuit (per phase)**

เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำอาศัยหลักการในการทำงานเช่นเดียวกับหม้อแปลง ค่ายกันตรงที่มอเตอร์มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ Rotor ดังนั้นจึงเขียนวงจรสมมูลได้เช่นเดียวกับหม้อแปลง



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของสเตเตอร์

จากการพิจารณารวมวงจรสมมูลระหว่าง Rotor และ stator ของ Induction motor ดังรูป กำหนดให้ค่า  $R_2$  และ  $X_2$  เป็นค่าที่พิจารณาอยู่ด้าน Stator แล้ว

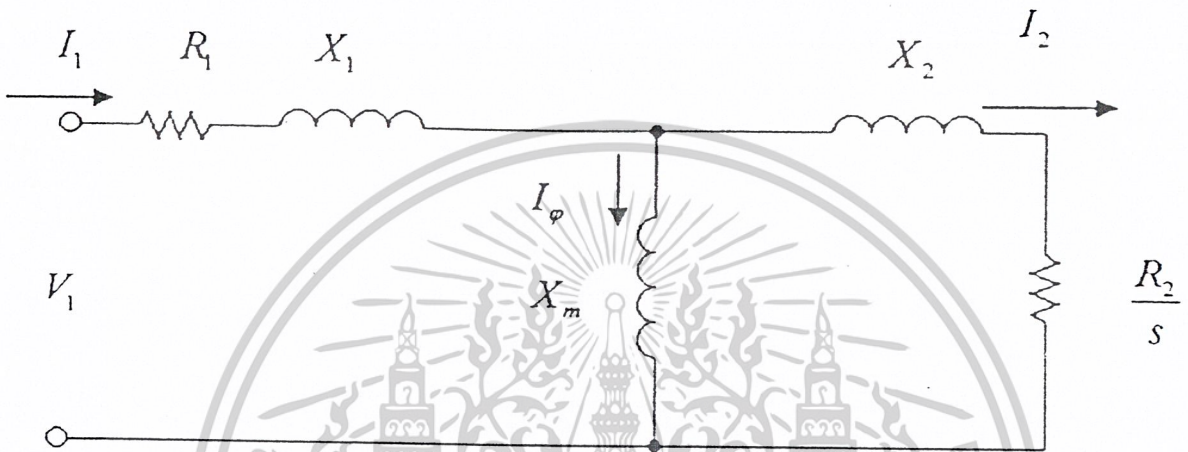


รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาด้านสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

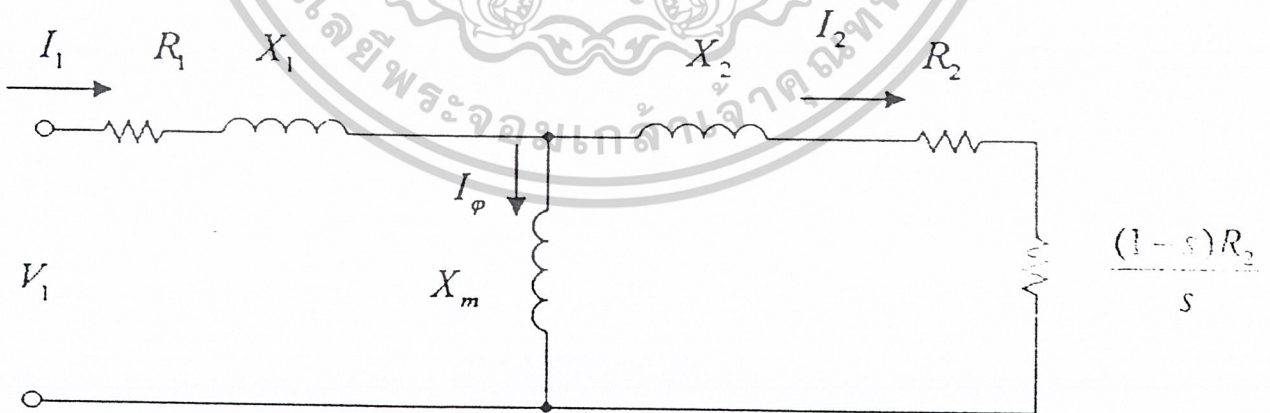
กระแสกระตุ้น  $I_\phi$  สามารถแยกออกได้สองส่วนคือ กระแสส่วนที่สูญเสียในแกนเหล็ก  $I_c$  ซึ่งจะมีเฟสเดียวกับ  $E_1$  และกระแสส่วนสร้างแม่เหล็ก  $I_m$  ซึ่งจะล่าหลัง  $E_1$  เป็นมุม  $90^\circ$  ในวงจรสมมูล กระแสกระตุ้น  $I_\phi$  สามารถแสดงไว้ในส่วนวงจรขนานที่ประกอบด้วยความต้านทาน  $R_c$  และค่าแมกนิตีซิ่งรีแอกแตนซ์  $X_m$

### 2.1.3 กำลังและแรงบิด (Power and Torque Characteristics)



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณา Core loss คงที่ และนำไปคิดรวมกับการสูญเสียทางกล

และจากสมการที่ 2-8 สามารถเขียนวงจรสมมูลใหม่ได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้พิจารณากำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแรงบิดและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถพิสูจน์ได้จากวงจรสมมูลกำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานใน Stator (Stator copper loss)

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \tag{2-11}$$

กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานใน Rotor (Rotor copper loss)

$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 \tag{2-12}$$

กำลังไฟฟ้าที่ป้อน (Input power)

$$P_i = 3V_1 I_1 \cos \phi_1 \tag{2-13}$$

Rotor input (power across air gap)

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{S} \tag{2-14}$$

Rotor output (electromagnetic power)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1-S)P_g \tag{2-15}$$

Electromagnetic torque

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_r} = \frac{P_g}{\omega_s} \tag{2-16}$$

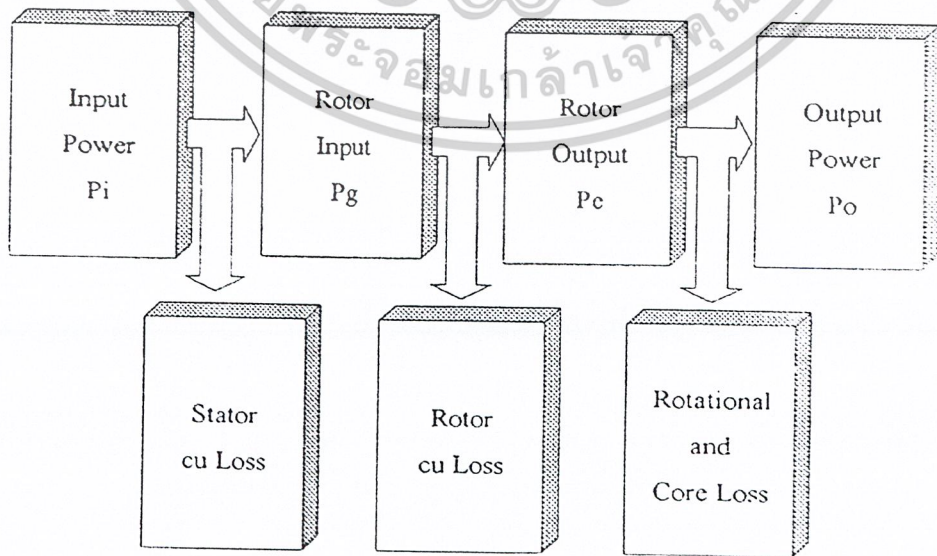
Output power (mechanical power)

$$P_o = P_e - P_r \tag{2-17}$$

Output torque

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \tag{2-18}$$

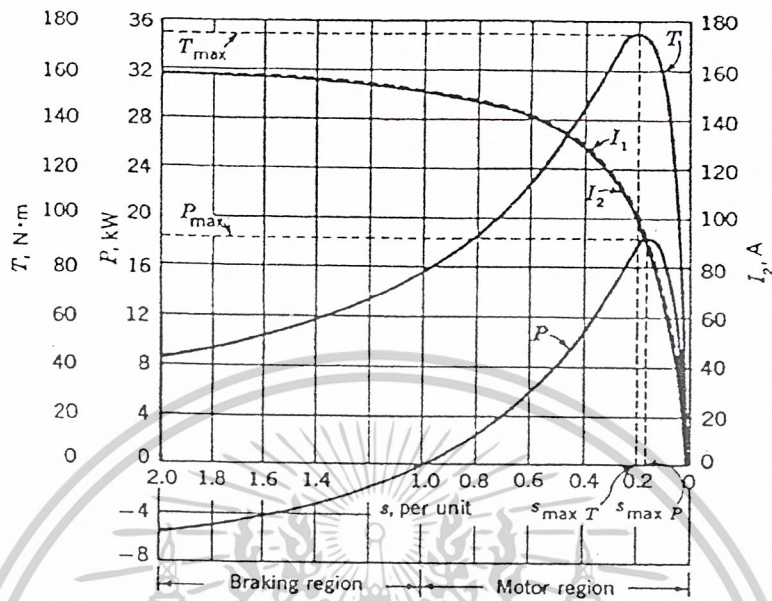
ขั้นตอนการพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor)



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาค่าต่างๆ เหล่านี้ที่ค่า Slip ต่างๆ ได้โดยการแทนค่า Slip แล้วคำนวณตามขั้นตอนข้างต้นเมื่อแทนค่า Slip ให้มีค่าเท่ากับ 0 ถึง 1.0 จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 2.8 กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

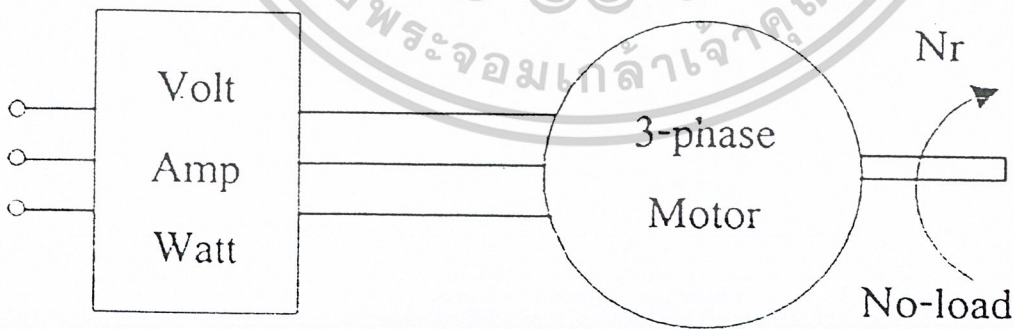
2. 1. 4 การทดสอบมอเตอร์ (Three-Phase Induction Motor Tests)

การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำมี 2 วิธี คือ

1. No-load Test

ทดสอบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าขณะที่ Motor อยู่ในสภาพ no-load แล้วบันทึกค่า V, A, W แล้ว

พิจารณาเป็นค่าต่อเฟส  $V_o, I_o, P_o$



รูปที่ 2.9 วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ No-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบสามารถหา  $\phi_o, R_c, X_m$  ได้

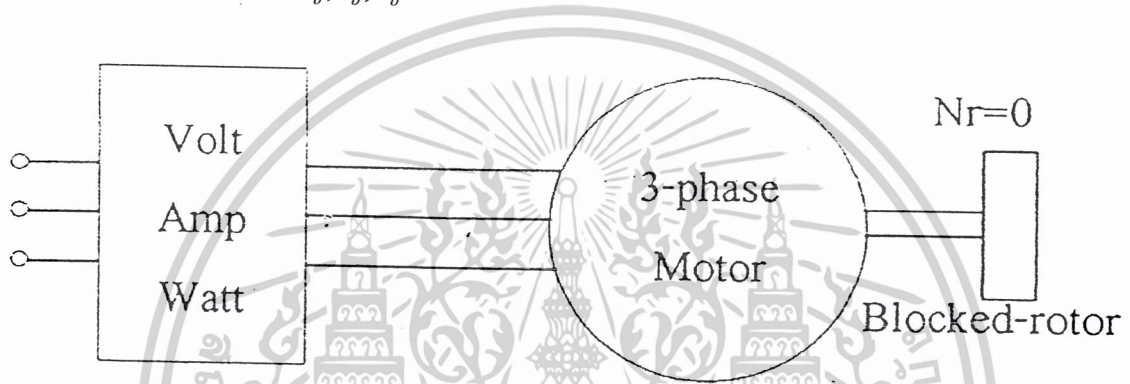
$$\phi_o = \cos^{-1} \frac{P_o}{V_o I_o} \quad (2-19)$$

$$R_c = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (2-20)$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_o \sin \phi_o} \quad (2-21)$$

## 2. Blocked-Rotor Test

ทดสอบที่พิกัดกระแสไฟฟ้าในขณะที่ Motor อยู่ในสภาพ block-rotor แล้วบันทึกค่า  $V, A, W$  แล้วเปลี่ยนให้เป็นค่าต่อเฟส  $V_b, I_b, P_b$



รูปที่ 2.10 วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ Blocked-rotor

จากการทดสอบจะได้

$$\phi_b = \cos^{-1} \frac{P_b}{V_b I_b} \quad (2-22)$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} \quad (2-23)$$

$$R_b = \frac{P_b}{I_b^2} \quad (2-24)$$

$$X_b = \sqrt{(Z_b)^2 - (R_b)^2} = \frac{V_b \sin \phi_b}{I_b} \quad (2-25)$$

$$R_b = R_1 + R_2 \quad (2-26)$$

ค่า  $R_1$  (Armature winding resistance per phase) สามารถหาได้จากวิธีการ VI-method (DC)

$$X_b = X_1 + X_2 \quad (2-27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Maximum Torque Calculation

Maximum Torque สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$\frac{R_2}{S_{\max,T}} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (2-28)$$

ดังนั้นค่า Maximum Torque จะเกิดขึ้นที่ค่า Slip เท่ากับ

$$S_{\max,T} = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (2-29)$$

## 2. 1. 5 การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Operations of Three-Phase Induction Motor)

สตาร์ทมอเตอร์ (Starting Conditions)

ขณะเริ่มหมุนมอเตอร์จะเกิดกระแสสูงกว่าปกติ พิจารณาเมื่อ Slip = 1

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (2-30)$$

จะเห็นได้ว่าค่าแรงบิดขณะเริ่มหมุนจะพิจารณาได้จาก

$$T_e = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{3I_2^2 R_2}{\omega_s} = \frac{3R_2}{\omega_s} \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (2-31)$$

ดังนั้นเราสามารถลดค่ากระแสขณะเริ่มหมุนได้โดยพิจารณาจากสมการ 2-30

ลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ motor (แรงบิดขณะเริ่มหมุนจะลดลง)

- Autotransformer
- Star-delta Start

เพิ่มค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ rotor

การควบคุมความเร็ว (Speed Control)

ความเร็วของ Motor ขณะจ่ายภาระทางกลสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดย

เปลี่ยนค่าความเร็ว Synchronous ของ Motor

โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ  $N_s = \frac{120f}{p}$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเร็ว Synchronous จะขึ้นอยู่กับ

กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก และความถี่ของระบบไฟฟ้า

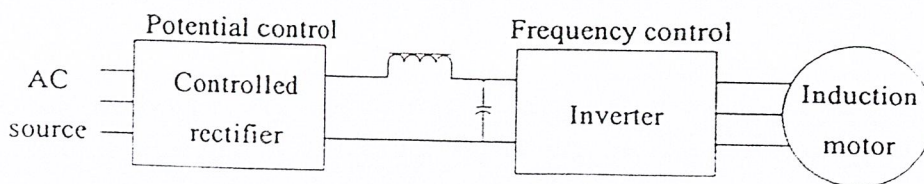
ดังนั้นความเร็ว Rotor

$$N_r = (1-S) \frac{120f}{p} \quad (2.32)$$

ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการ

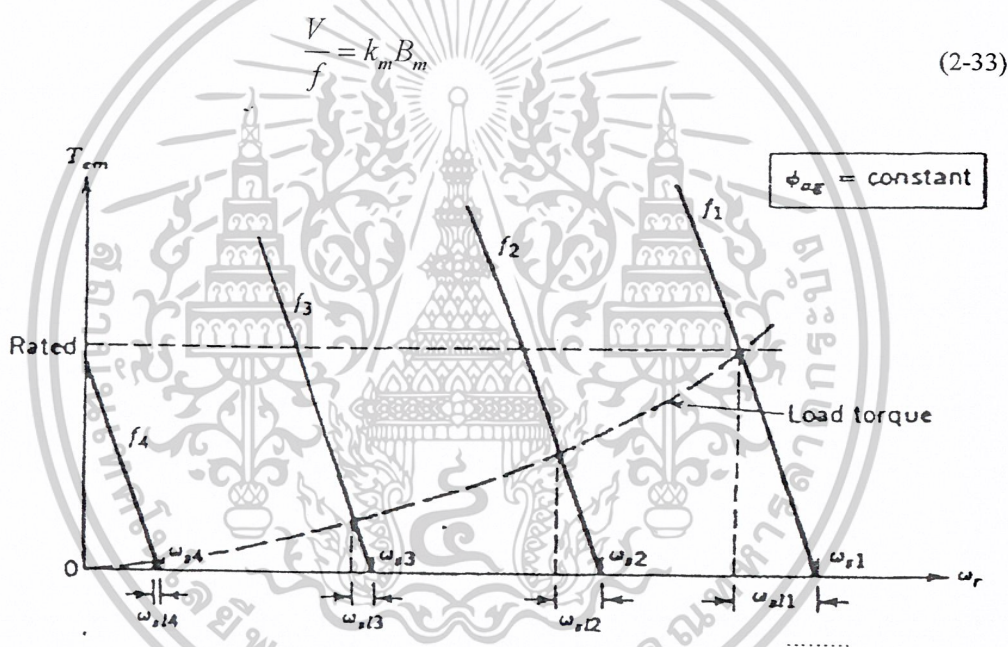
- Pole-changing
- Variable frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยเปลี่ยนความถี่ของไฟฟ้า

สำหรับวิธีการเปลี่ยนความถี่ ถ้าต้องการให้ค่าแรงบิดของมอเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง จะต้องทำให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่ความถี่ต่างๆ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถจะกระทำได้โดยการทำให้อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ ( $V/f$ ) มีค่าคงที่



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์โดยการเปลี่ยนค่าความถี่ และแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า

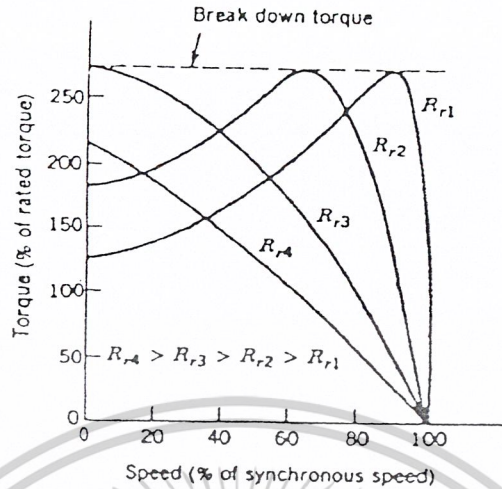
การเปลี่ยนค่าสลลิป (Slip)

การควบคุมสลลิปของมอเตอร์จะทำได้โดยการควบคุม Torque-Speed Curve ของมอเตอร์ซึ่งทำได้ 2

วิธี คือ

- Variable Stator Voltage
- Variable Rotor Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

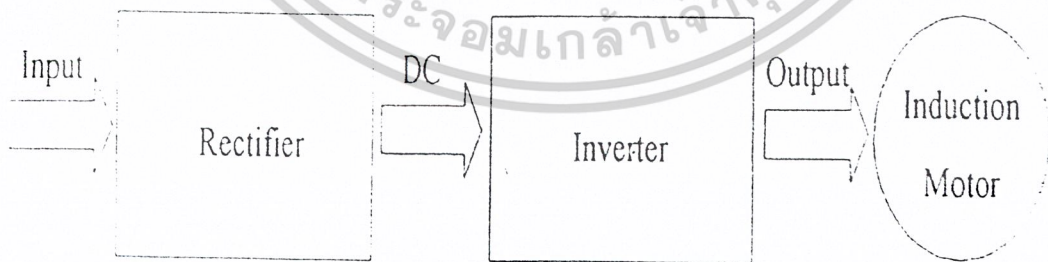


รูปที่ 2.13 กราฟความถี่พิกัดของแรงบิด และความถี่เมื่อปรับความเร็วมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนค่าสลลิป

2.2 อินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

อินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบจ่ายไฟและมอเตอร์ ดังนั้น อินเวอร์เตอร์ที่ดี ต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์

สามารถที่จะปรับความถี่ได้ เป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบที่ต้องการสามารถปรับแรงดันเอาท์พุทเพื่อรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ ( $V/f$ ) ให้คงที่ตลอดเพื่อให้แรงบิดคงที่สามารถจ่ายกระแสได้เต็มพิกัดที่ความถี่ใดๆ ซึ่งอยู่ในช่วง Torque คงที่



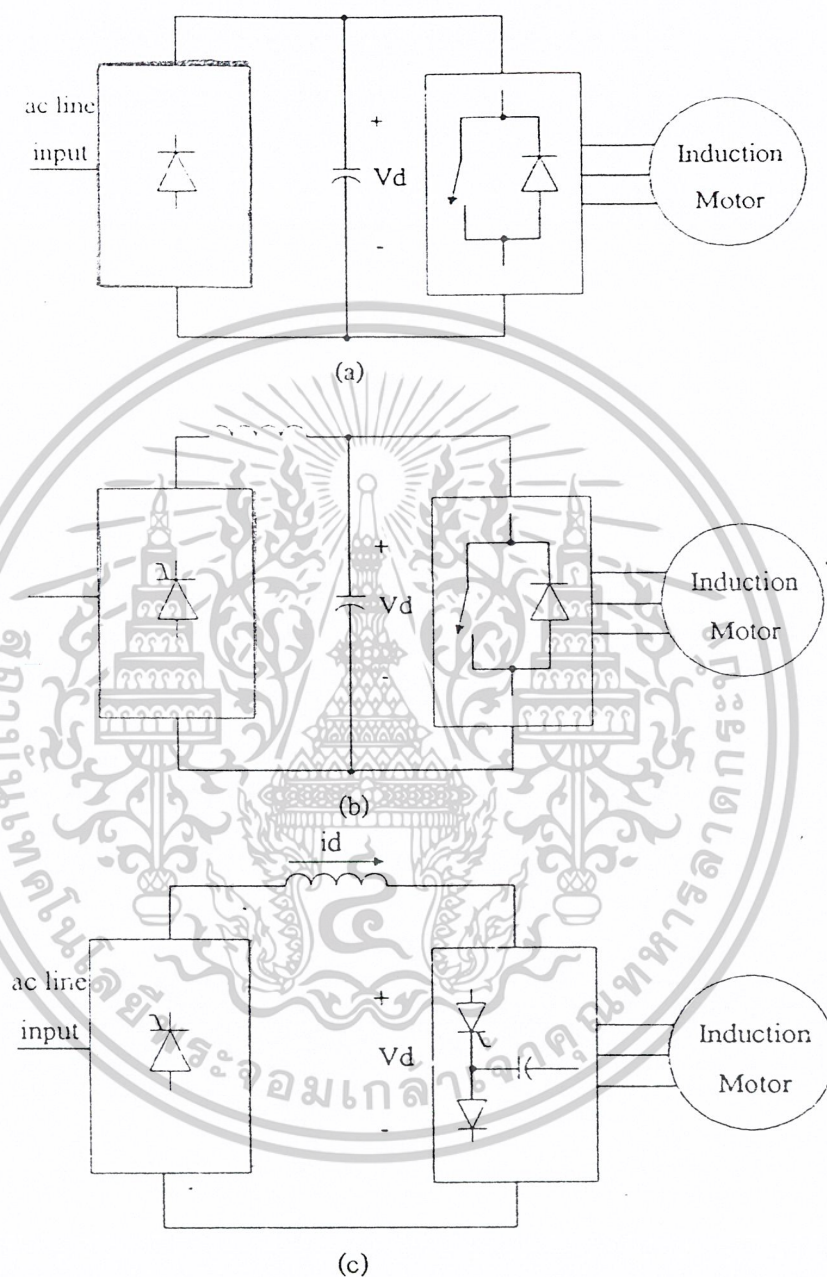
รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกโหนดและแตรมของระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ชนิดอินเวอร์เตอร์สำหรับ

- PWM VSI
- Six-Step VSI หรือ Quasi VSI
- Current source inverter CSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Pulse Width Modulation Voltage Source Inverter (PWM-VSI) กับ ไคโอดเรคตีไฟเออร์

(b) Square-Wave Voltage Source Inverter กับ เรคตีไฟเออร์แบบควบคุมได้

(c) Current Source Inverter (CSI) กับ เรคตีไฟเออร์แบบควบคุมได้

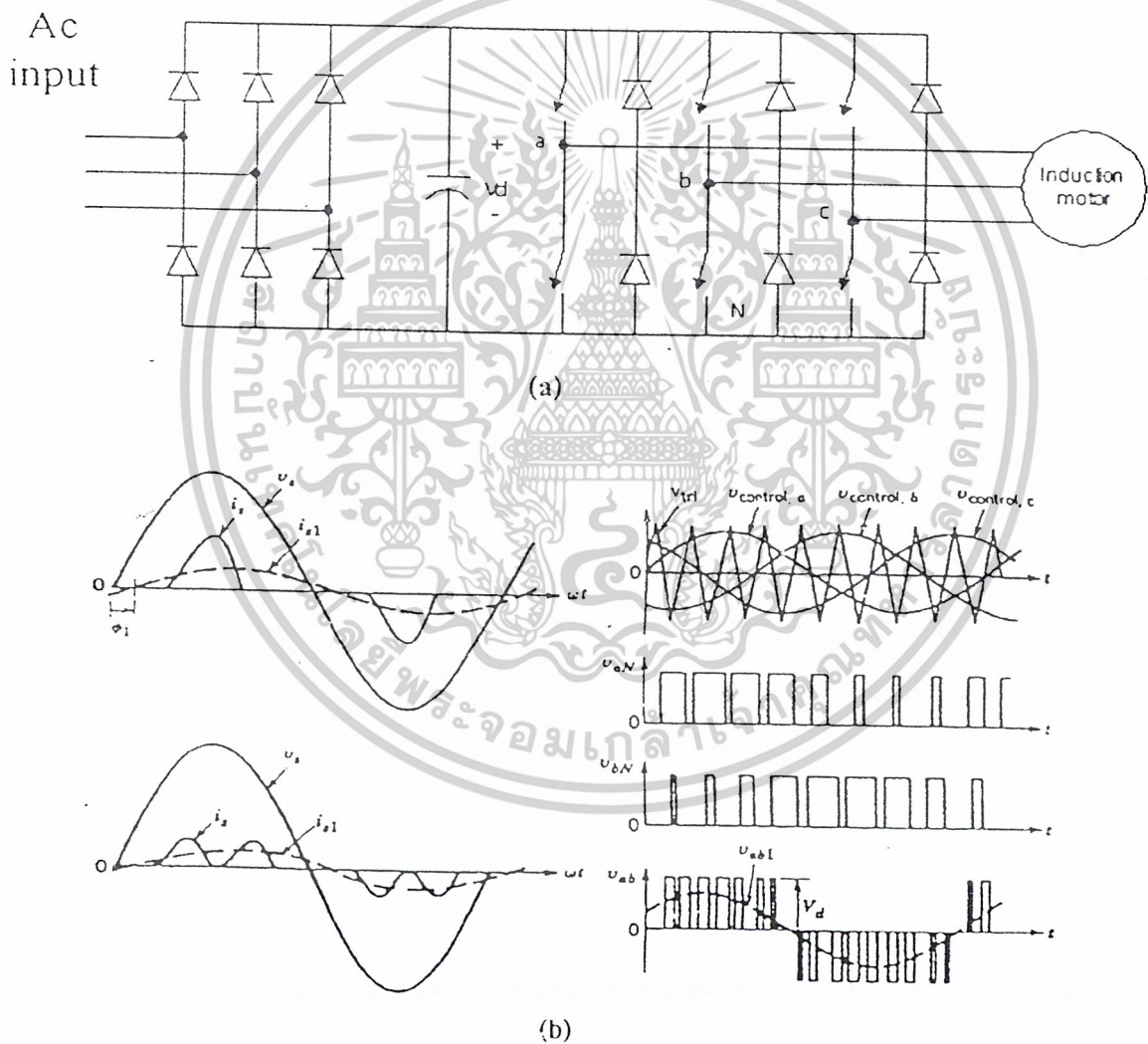
### รูปที่ 2. 15 ชนิดของ Variable-Frequency Converters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Pulse Width Modulation Voltage Source Inverter (PWM-VSI)

โครงสร้างของ ในส่วนแรงดันดีซีลิงค์ สามารถใช้เรกติไฟเออร์ที่เป็นไดโอด ทำให้แรงดันของดีซีลิงค์มีค่าคงที่ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ค่า Power Factor ทางด้านอินพุตดีขึ้น ดังนั้น ความถี่และแรงดันเอาต์พุตของแรงดันมูลฐานสามารถควบคุมโดยใช้เทคนิคของ PWM เทคนิค PWM-VSI นี้จะให้แรงดันเอาต์พุตที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) อันดับต่ำแต่จำนวนครั้งของการ Switching สูงขึ้นดังนั้นจึงมีปัญหาการกระเพื่อมของแรงบิด

แม้ว่า สามารถลดการสูญเสียของมอเตอร์เนื่องจากผลของฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) ก็ตามแต่ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ค่อนข้างจะต่ำ เพราะผลของจำนวน Switching สูง

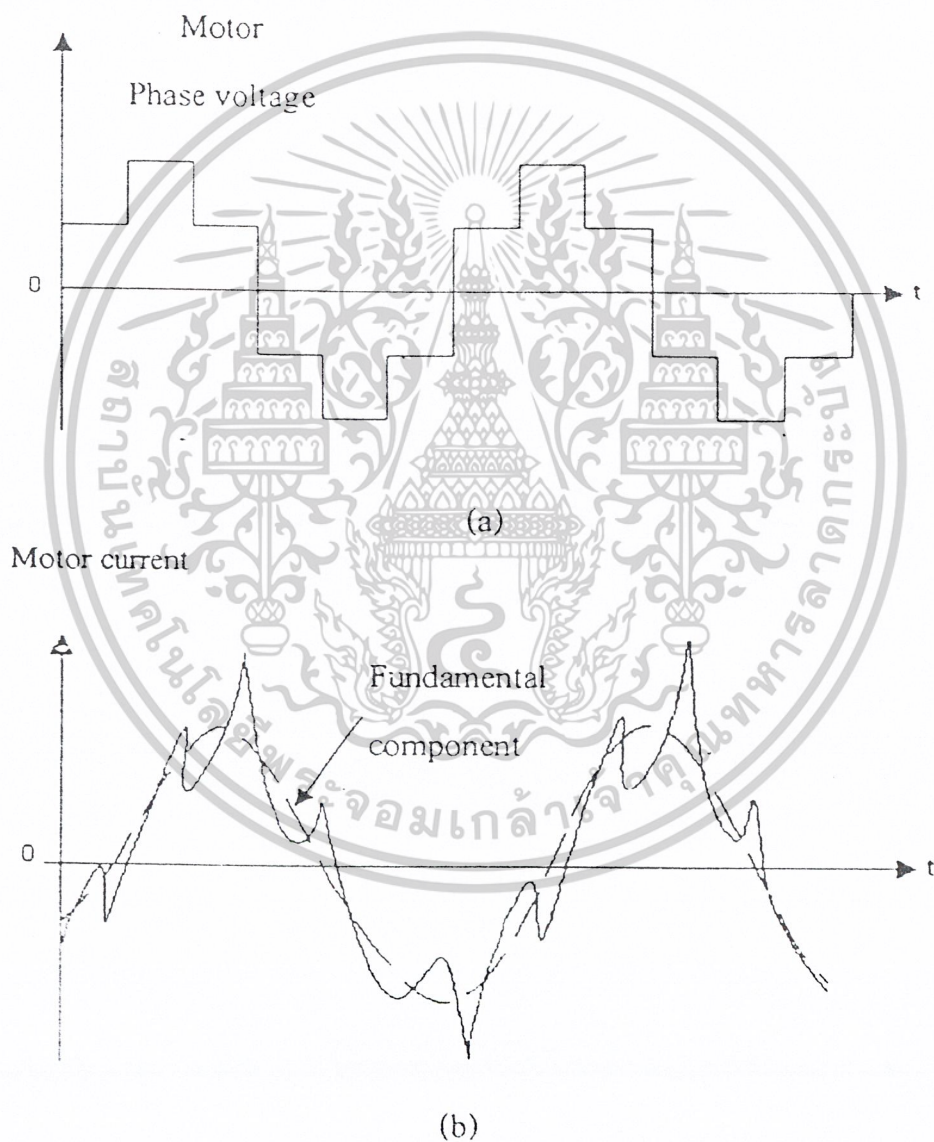


รูปที่ 2.16 PWM-VSI (a) โครงสร้างของ PWM-VSI (b) รูปคลื่นของ PWM-VSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Square-Wave Voltage Source Inverter

ถ้าสำหรับ SQUARE-WAVE VSI สามารถควบคุมการจ่ายแรงดันเอาต์พุตที่ปรับเปลี่ยนความถี่ได้ การควบคุมแรงดันดีซีลิงค์โดยใช้รีคลิฟเฟอร์เป็นอุปกรณ์ตัดต่อทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor) ทางด้านอินพุตมีค่าที่เราสามารถแก้ไขได้โดยเปลี่ยนมาใช้ (dc/dc) converter ที่เป็นชอปเปอร์มาควบคุมทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor) ดีขึ้น อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะเหมาะสำหรับมอเตอร์ขนาดกำลังต่ำไปจนถึงขนาดปานกลาง และจะใช้ได้ดีในช่วงความถี่อินเวอร์เตอร์สูง แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะการควบคุมเพื่อที่จะให้ คงที่ ( $V/f$ ) จะต้องควบคุมวงจรกำลัง 2 ส่วนคือส่วนของดีซีลิงค์และอินเวอร์เตอร์ทำให้ระบบซับซ้อนจึงทำให้เสถียรภาพของระบบต่ำลง

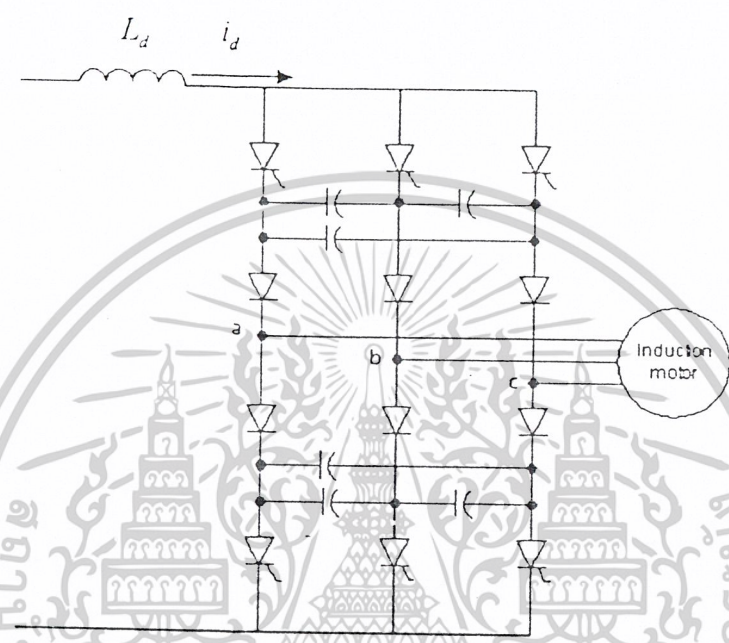


รูปที่ 2.17 (a) ลักษณะสัญญาณของ Square-Wave VSI (b) ผลของฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น

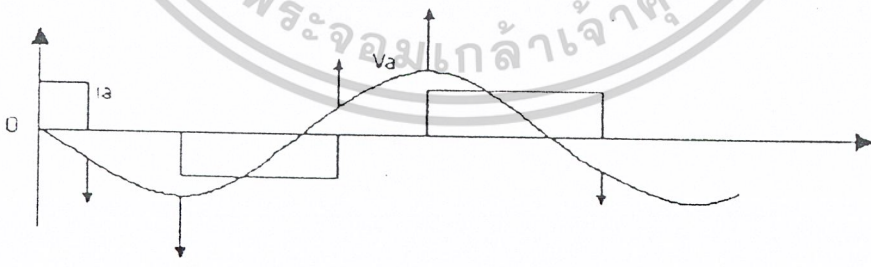
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Current Source Inverter**

CSI สามารถควบคุมได้โดยการควบคุมเฟสของ AC Line และมีอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ต่ออนุกรมอยู่แต่ไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่ด้วยเพื่อสร้างแหล่งจ่ายกระแสให้กับอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของโครงสร้างทางวงจรของ VSI สำหรับ CSI มีข้อดีซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ วงจรกำลังจะใหญ่และไว้วางใจได้ดี ป้องกันการลัดวงจรได้ดี แต่ก็มีข้อเสียคือช่วงความถี่ของอินเวอร์เตอร์ปรับได้ค่อนข้างต่ำและไม่สามารถทำงานได้ที่สภาวะไร้โหลด



(a) วงจรของ CSI



(b) ลักษณะสัญญาณในอุดมคติ

รูปที่ 2.18 ลักษณะวงจรและสัญญาณของ DSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด **61970** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การวิเคราะห์หาค่าแรงบิดและกำลังต่างๆ

### 2.3.1 สมการทางวิศวกรรม

ในการหาค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเราสามารถที่ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าแรงบิด โดยอาศัยสมการทางวิศวกรรม ดังนี้

1.กรณีรับสัญญาณกระแส และ สัญญาณแรงดันมาทั้ง 3 เฟส จะใช้สมการดังนี้

$$T_e = \frac{P}{2\sqrt{3}} \left[ (i_A - i_B) \int (V_{CA} - R(i_C - i_A) dt) - (i_C - i_A) \int (V_{AB} - R(i_A - i_B) dt) \right] \quad (2-34)$$

2.เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะเปลี่ยนสมการของกระแสและสมการแรงดันจากระบบ 3 เฟส 3 แกน เป็น 2 แกน โดยอาศัยสมการ



รูปที่ 2.19 แสดงการเปลี่ยนระบบ 3 เฟส 3 แกน เป็น 2 แกน

$$U_D = \frac{1}{3}(U_{BA} - U_{AC}) \quad (2-35)$$

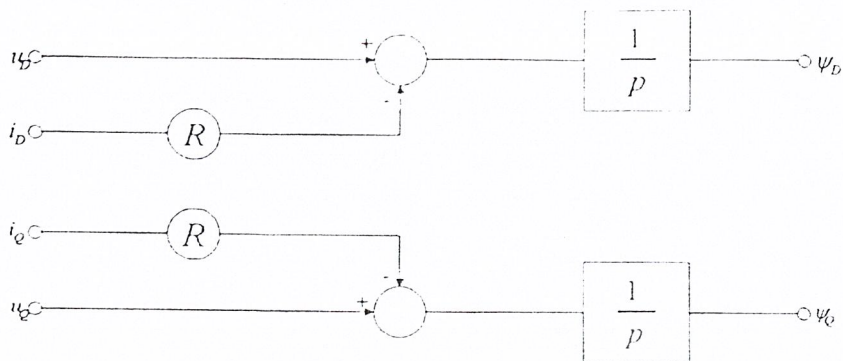
$$U_Q = -\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)(U_{AC} + U_{BA}) \quad (2-36)$$

$$i_D = i_A \quad (2-37)$$

$$i_Q = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)(i_A + 2i_B) \quad (2-38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะนำสมการกระแสคูณกับค่าความต้านทานที่ได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ

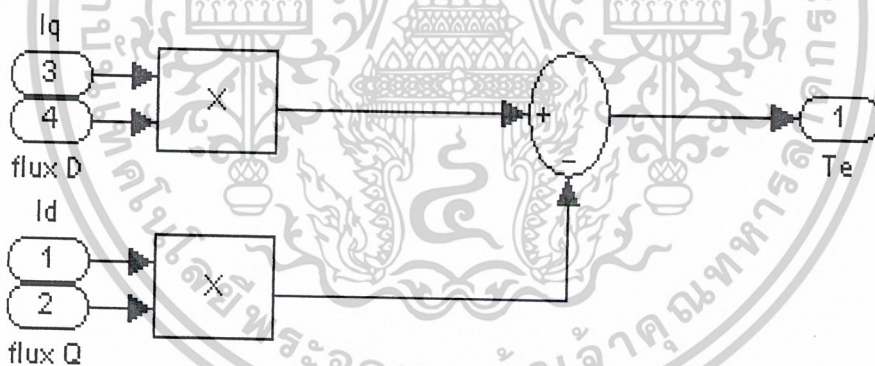


รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมการหาค่าฟลักซ์

$$\psi_{sd} = \int (V_{sd} - I_{sd}R) dt \tag{2-39}$$

$$\psi_{sq} = \int (V_{sq} - I_{sq}R) dt \tag{2-40}$$

สามารถหาค่าแรงบิดได้



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมหาค่าแรงบิด

$$T_e = \psi_{sd} I_{sq} - \psi_{sq} I_{sd} \tag{2-41}$$

การวิเคราะห์เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า

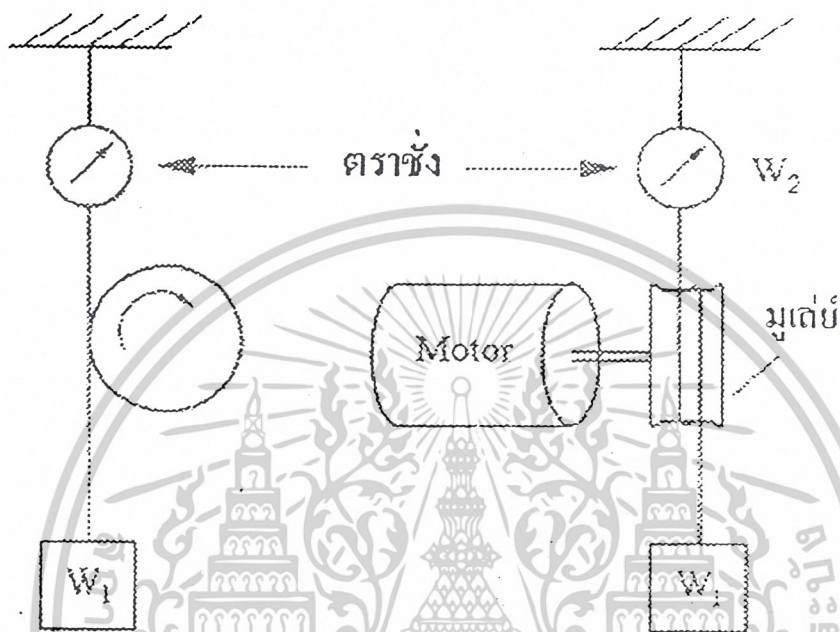
$$P = \frac{3}{2} (V_{sd} I_{sd} + V_{sq} I_{sq}) \tag{2-42}$$

$$Q = \frac{3}{2} (V_{sd} I_{sq} - V_{sq} I_{sd}) \tag{2-43}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การทดสอบมอเตอร์

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงบิดกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยการทำให้เกิดความฝืดที่มุขลัย ซึ่งตัวมุขลัยมีการระบายความร้อนโดยใช้น้ำใส่ไว้ภายใน ความฝืดระหว่างเชือกกับมุขลัยจะเป็นแรงบิดของภาระ (Load – Torque) ที่สามารถวัดค่าได้ดังแสดงตามรูปที่ 2.2 พร้อมทั้งมีเครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่ป้อนโดยวัดศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้า ( $V_{i/p}$ )



รูปที่ 2.22 แสดงการใส่และการวัดแรงบิดของภาระ

ขณะที่มอเตอร์ยังไม่หมุนตราซังจะอ่านค่ามวลของลูกน้ำหนักได้เท่ากับ  $W_1$  และเมื่อมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับ  $N$  รอบ/นาที ตราซังอ่านน้ำหนักได้น้อยลงเป็น  $W_2$  โดยที่แรงที่เกิดจากความฝืดระหว่างผิวของมุขลัย จะเป็นแรงที่ช่วยดึงลูกน้ำหนัก

ในการใส่ภาระทางกลแบบนี้จะกำหนดทิศทางการหมุนในลักษณะที่ทำให้เกิดแรงดึงลูกน้ำหนักขึ้น ทำให้ตราซังอ่านค่าได้น้อยลง ถ้ารัศมีจากจุดศูนย์กลางของมุขลัยมาถึงจุดศูนย์กลางของเชือกเท่ากับ  $R$  เมตร ( $m$ ) สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$\text{แรงบิดที่ขั้วภาระ} \quad (T_L) = 9.81(W_1 - W_2)R \quad (2-44)$$

$$\text{กำลังส่งออกของมอเตอร์} \quad (P_{o/p}) = T_L \omega \quad (2-45)$$

$$= 9.81(W_1 - W_2)R \left( \frac{2\pi N}{60} \right)$$

$$(P_{o/p}) = RN(W_1 - W_2) \quad (2-46)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า} \quad (P_{i/p}) = V_{i/p} I_{i/p} \quad (2-47)$$

$$\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} \quad (\eta) = \frac{(P_{o/p})}{(P_{i/p})} \quad (2-48)$$

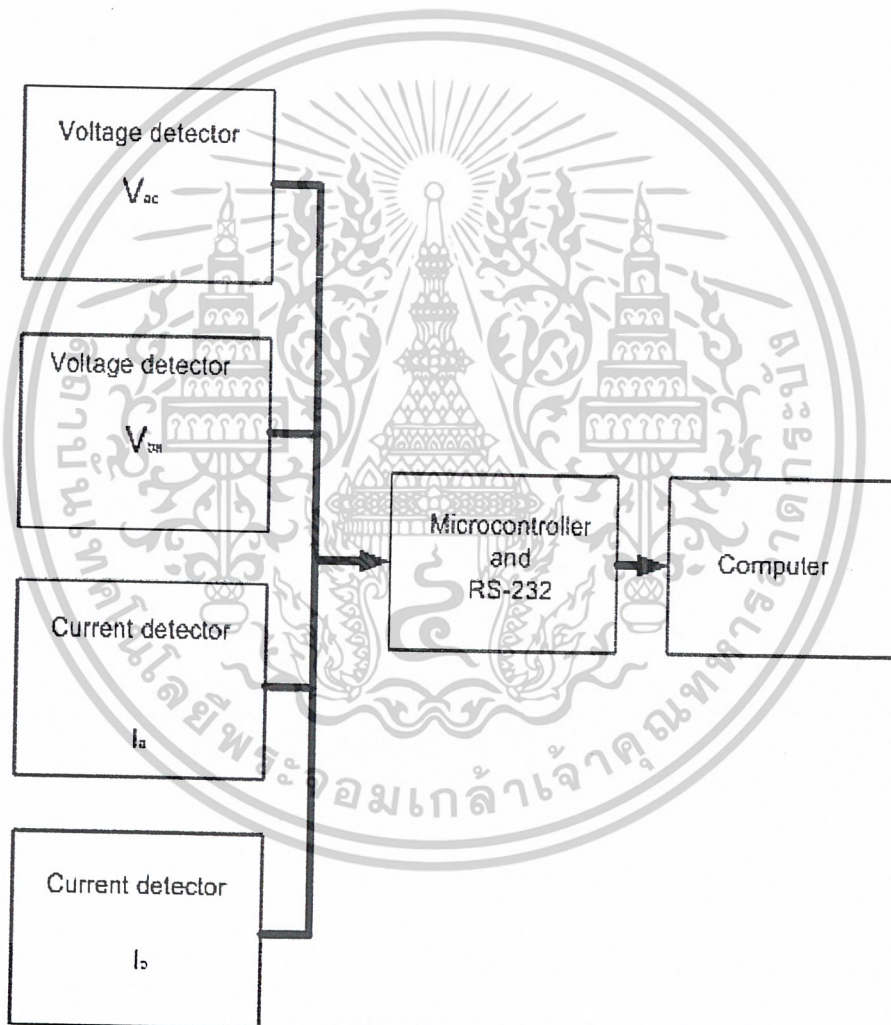
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การคำนวณการสร้างและการออกแบบ

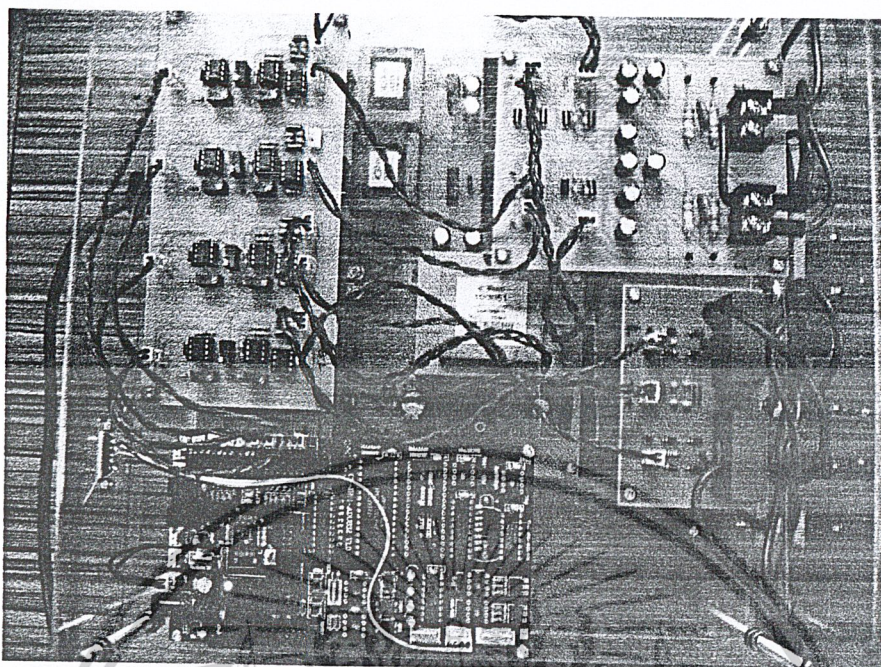
##### 3.1 การทำงานของโครงการ

สำหรับหลักการการทำงานของโครงการการคำนวณหาค่าแรงบิดเราจะใช้สมการในหัวข้อ 2.3.1 ซึ่งจะเปลี่ยนสมการของกระแสและสมการของแรงดัน จากระบบ 3 เฟส 3 แกนเป็น 2 แกน ดังนั้นจึงต้องการอินพุทของสัญญาณแรงดัน 2 สัญญาณ และสัญญาณกระแส 2 สัญญาณ คือ  $V_{ba}$ ,  $V_{ac}$ ,  $I_a$  และ  $I_b$  ตามลำดับ จากนั้นก็นำสัญญาณที่ได้มาคำนวณหาค่าแรงบิด และกำลังไฟฟ้า โดยจะประมวลผลสัญญาณดิจิทัลด้วยคอมพิวเตอร์

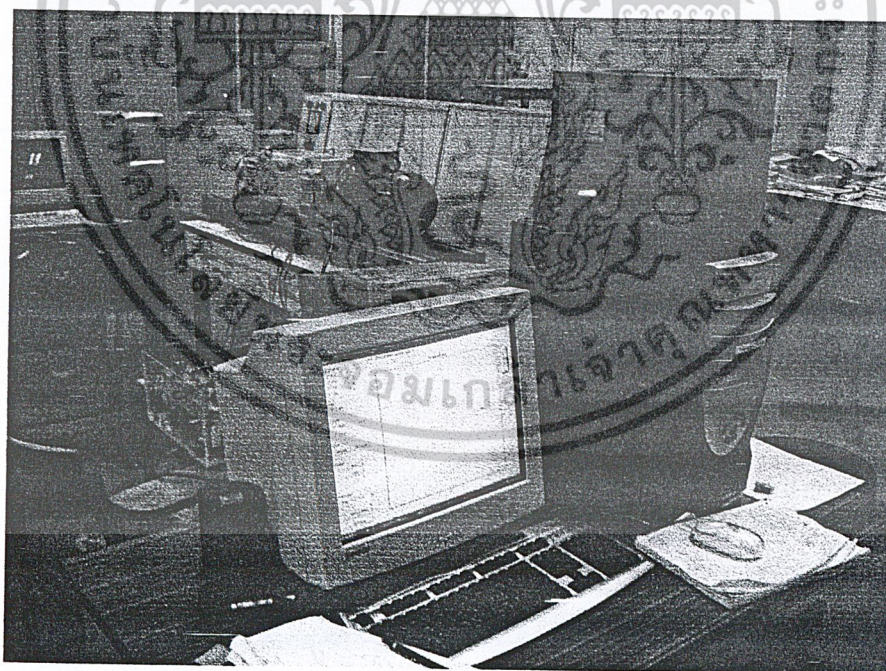


รูปที่ 3.1 Block Diagram การทำงานของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 2 โครงสร้างวงจรของโครงการ

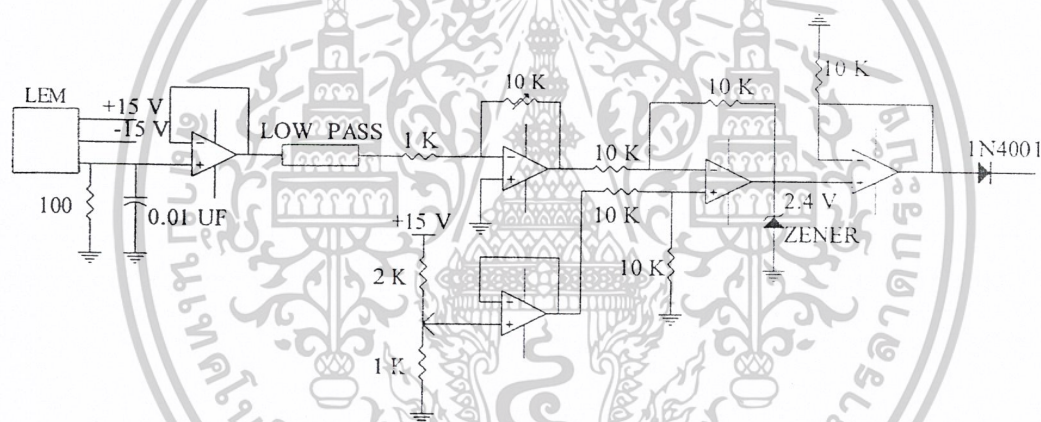


รูปที่ 3. 3 โครงสร้างการรับสัญญาณจากมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การตรวจจับกระแส ( Current Detector )

วงจรนี้ทำหน้าที่ตรวจจับกระแสเพื่อการควบคุม โดยในโครงงานนี้ได้ใช้ Current transducer ซึ่งเป็นของยี่ห้อ LEM โดยใช้หลักการ Hall - effect เป็นตัวตรวจจับกระแสซึ่งมีข้อดีกว่า CT (Current Transformer) ในด้านที่สามารถตรวจจับกระแสที่เป็นลักษณะกระแสตรง (DC current) และ กระแสสลับ (AC current) สามารถตอบสนองกับกับงานที่มีความถี่สูงได้ ความผิดพลาดของสัญญาณที่มีค่า โดยมีค่าความผิดพลาดประมาณ  $\pm 0.65\%$  และมีวิธีการใช้งานหลายขนาด วิธีการใช้งานที่ง่าย ซึ่งในการควบคุมครั้งนี้จะใช้ LEM ตรวจจับกระแสจากมอเตอร์ เพื่อที่จะนำมาใช้งานในวงจรต่อไป โดยเลือกพิสัยของ LEM 50 A รุ่น LA55-P สำหรับการใช้งาน LEM จะต้องมีการชดเชยในการลดระดับของกระแสลงซึ่งในโครงงานนี้ใช้ 1 : 1000 นอกจากนี้ยังต้องมีวงจรสนับสนุนทำงานพร้อมกับ LEM ด้วย เช่น แหล่งจ่ายไฟขนาด  $\pm 15$  Vdc วงจร Low pass filter วงจรบัฟเฟอร์และวงจรปรับค่าออฟเซตสัญญาณเพื่อที่จะทำให้สัญญาณที่ได้เหมาะสมกับวงจรที่ใช้งานหลังจาก LEM ให้เหมาะสมกับวงจรของ MCS 51 ก่อนเข้าไปทำการประมวลผลใน MCS 51 แล้วจึงค่อยส่งผ่านเข้าคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลหาค่าต่างๆของมอเตอร์ได้



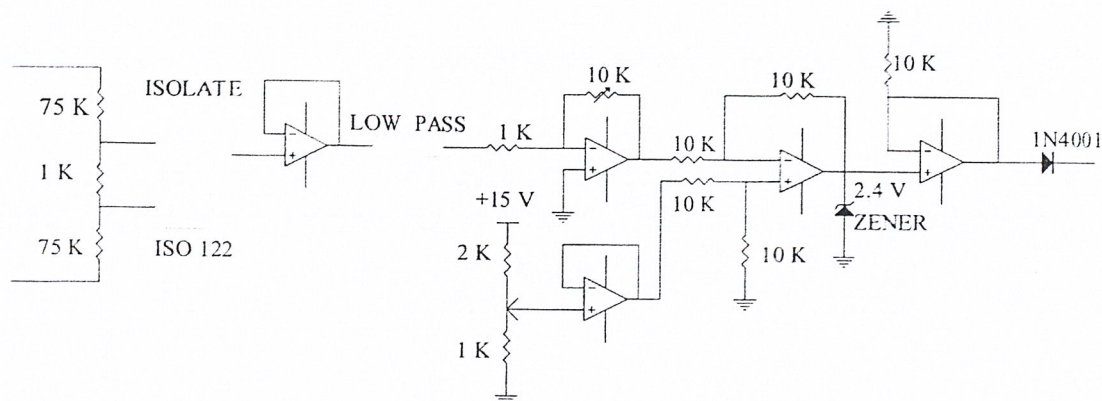
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรตรวจจับกระแส

### 3.3 การตรวจจับแรงดัน (Voltage Detector)

การตรวจวัดแรงดัน นั้นจะวัดจากเฟสที่ใช้งาน 2 เฟส มาแล้วจะลดระดับแรงดันลงจากแรงดัน 380 โวลต์ ให้เหลือระดับแรงดันที่ 5 โวลต์ เพื่อสะดวกต่อการทำงานแบบลอจิก โดยใช้ ตัวความต้านทานแบ่งโวลต์ แล้วจะต่อโวลต์ ที่ได้กับวงจรต่างๆของวงจรตรวจจับแรงดันเป็นขั้นๆดังนี้

1. ความต้านทานมาใช้เป็นตัวแบ่งแรงดัน (voltage divider)
2. แรงดันต่ำที่ได้จะผ่าน IC Isolate เพื่อทำการแยกกราวด์แรงดันสูงกับต่ำ
3. สัญญาณแรงดันที่ออกจาก IC Isolate จะนำผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่สูง ใช้ IC เบอร์ UFA42
4. เมื่อผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่สูง สัญญาณที่ได้ก็จะนำเข้าวงจรเพิ่ม Impedance และปรับระดับแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการช่วงของแรงดันที่ปรับคือ ระดับแรงดันที่เข้าสู่ IC Analog to Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจจับแรงดัน

### 3.4 ทฤษฎีการสุ่มและการแปลงสัญญาณ

#### 3.4.1 ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ

ในการประมวลผลหรือวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัล หัวใจสำคัญชุดแรกก็คือวงจรการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ค่าของสัญญาณดิจิทัลแต่ละค่า จะได้มาจากการแปลงสัญญาณของวงจรเอชทูดี ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการสุ่มสัญญาณอนาล็อก ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ที่วงจรเอชทูดี เริ่มต้นทำการแปลงสัญญาณ อัตราการสุ่มนี้จะมีผลต่อความถูกต้องระหว่างสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล ถ้าอัตราการสุ่มสัญญาณมีค่าสูง จะทำให้สัญญาณดิจิทัลที่ได้มีค่าผิดพลาดจากค่าจริงน้อย แต่ถ้าอัตราการสุ่มของสัญญาณมีค่าต่ำ ก็จะทำให้สัญญาณดิจิทัลที่ได้มีความผิดพลาดมาก ทำให้การประมวลผลหรือวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าได้ไม่ถูกต้องตามความจริง

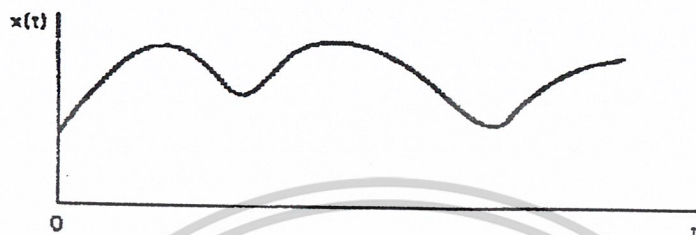
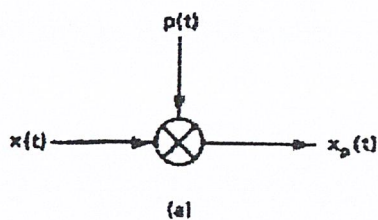
#### 3.4.2 อัตราการสุ่มสัญญาณของไมโครวิลท์

โดยปกติสัญญาณไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา คือ เป็นฟังก์ชันของเวลา สัญญาณไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

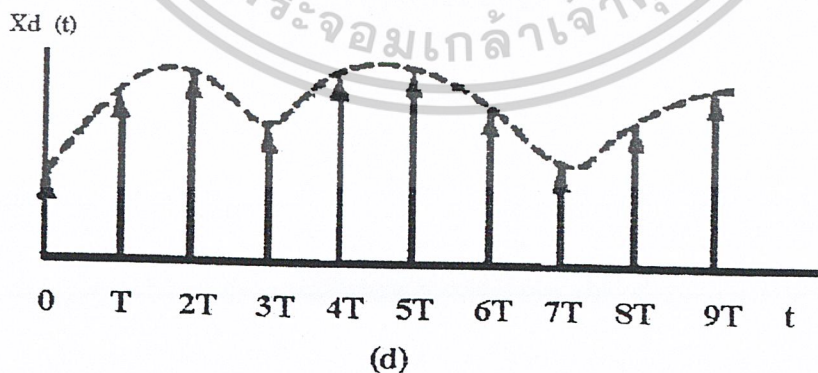
1. สัญญาณต่อเนื่อง คือ สัญญาณที่มีค่าต่อเนื่องตลอดเวลา โดยที่สัญญาณนี้จะถูกเรียกว่า สัญญาณอนาล็อก
2. สัญญาณไม่ต่อเนื่อง คือ สัญญาณที่มีค่าเป็นช่วงๆ สัญญาณจะมีค่าเฉพาะบางช่วงเวลาเท่านั้น โดยเวลาจะมีค่าไม่ต่อเนื่องปกติแล้วสัญญาณ Discrete จะอยู่ในรูปของลำดับของตัวเลข

ลักษณะของการสุ่มสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.6 สัญญาณ  $X(t)$  จะเป็นสัญญาณอนาล็อกทั่วไป สัญญาณ  $P(t)$  เป็นสัญญาณอิมพัลส์ เป็นช่วงเปรียบเสมือนสัญญาณพาหะ มีช่วงเวลาระหว่างอิมพัลส์เท่ากับ  $T$  ถ้านำสัญญาณทั้งสองมาคูณคูณกัน โดยให้ขนาดของสัญญาณถูกจำกัดด้วยขนาดของสัญญาณ  $X(t)$  จะได้สัญญาณ  $X_p(t)$  ตามรูปที่ 3.7 สัญญาณอิมพัลส์ที่ได้ใหม่นี้จะมีขนาดตามสัญญาณอนาล็อก  $X(t)$  เป็นการพิจารณาในโดเมนของเวลา สัญญาณที่กล่าวมานี้ ถ้าพิจารณาในโดเมนของความถี่โดยวิธี Fourier Transform จะได้สัญญาณตามรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

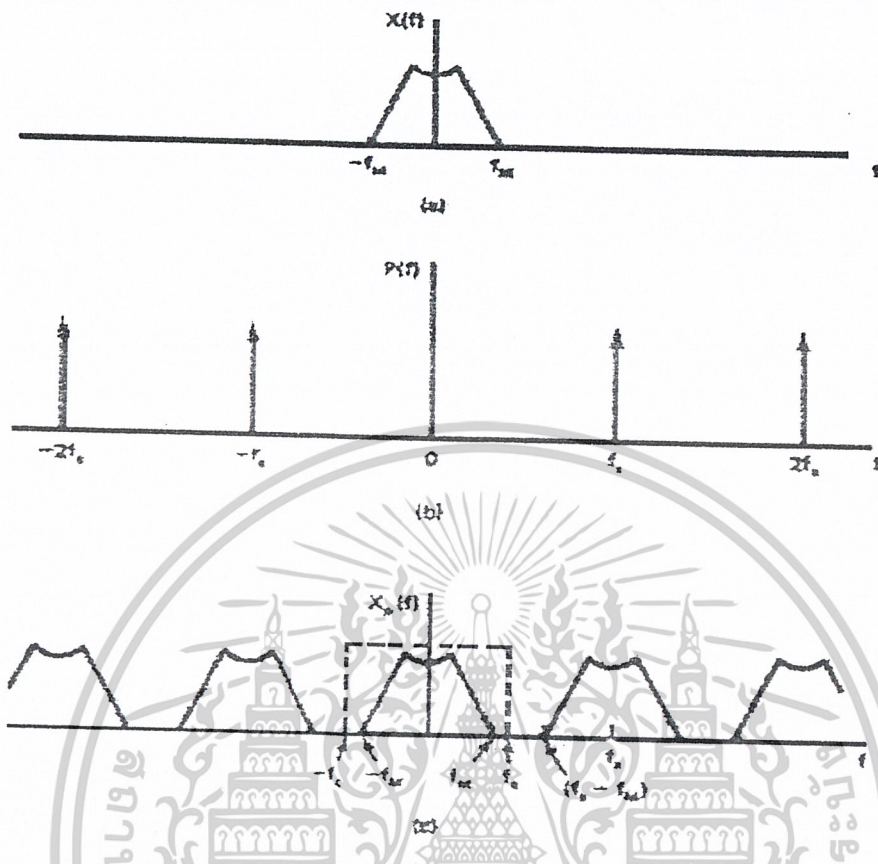


รูปที่ 3.6 แสดงการสุ่มสัญญาณ  $X(t)$



รูปที่ 3.7 สัญญาณมอดูเลตระหว่าง  $X(t)$  กับ  $p(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



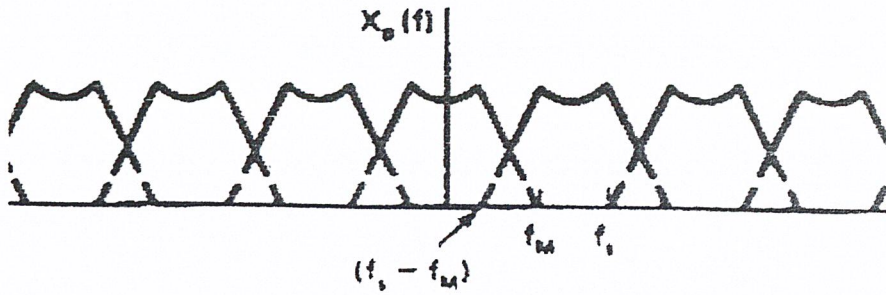
รูปที่ 3.3 Fourier Transform ของ สัญญาณ

สัญญาณ  $X(f)$  จะแทนสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณอนาล็อก  $X(t)$  จะเห็นได้ว่า  $X(f) = 0$  ที่ความถี่สูงกว่าความถี่  $f_M$  นั่นคือสัญญาณ  $X(t)$  จะไม่มีส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่  $f_M$  สัญญาณ  $p(f)$  จะแทนสเปกตรัมของสัญญาณอิมพัลส์  $p(t)$  โดยมีระยะห่างเท่ากับความถี่ของสัญญาณอิมพัลส์  $p(t)$  ซึ่งความถี่ของสัญญาณอิมพัลส์ก็คือความถี่ในการสุ่มสัญญาณนั่นเอง ใช้สัญลักษณ์  $f_s$  (Sampling frequency) สัญญาณ  $X_p(t)$  แทนสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มอดูเลตแล้ว  $X_p(t)$  โดยจะมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณ  $X(f)$  แต่จะมีจำนวนหลายๆรูปตามจำนวนของสัญญาณอิมพัลส์ โดยมีระยะห่างเท่ากับความถี่ในการสุ่มสัญญาณ  $f_s$

การรวบรวมค่าสเปกตรัมทั้งหมดในโดเมนความถี่ คือการคืนสภาพของสัญญาณอนาล็อก  $X(t)$  จากสัญญาณที่ได้สุ่มมา เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณคืนสภาพกลับมาได้อย่างถูกต้อง ความถี่คัทออฟของวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นเส้นประในรูปที่ 3. 8 จะต้องมีค่ามากกว่าความถี่  $f_M$  เพื่อที่จะไม่ให้สเปกตรัมของสัญญาณเหลื่อมล้ำกัน ความถี่ในการสุ่มสัญญาณ  $f_s$  จะต้องมีค่า

$$f_s - f_M \geq f_M \text{ หรือ } f_s \geq 2f_M$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

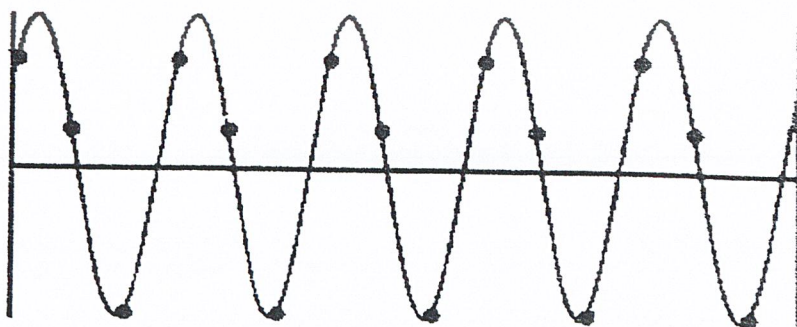


รูปที่ 3. 9 สเปกตรัมของสัญญาณที่มีค่า  $f_s - f_m < f_m$

เมื่ออัตราการสุ่มสัญญาณมีความถี่น้อยกว่า 2 เท่าของสัญญาณที่จะวัด ( $f_s < 2f_m$ ) แสดงว่า  $f_s < f_m$  มีค่าน้อยกว่า  $f_m$  สเปกตรัมของสัญญาณจะเกิดการเหลื่อมล้ำกัน แสดงดังรูปที่ 3.9 ทำให้การคืนสภาพของสัญญาณอนาล็อก  $X(t)$  จากสัญญาณที่ได้สุ่มมานั้นมีค่าผิดพลาดขึ้น ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการสุ่มสัญญาณมีความถี่น้อยกว่า 2 เท่าของสัญญาณที่ต้องการวัดนี้ เรียกว่า Aliasing หรือ Frequency Aliasing ลักษณะของการเกิด Aliasing สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.10

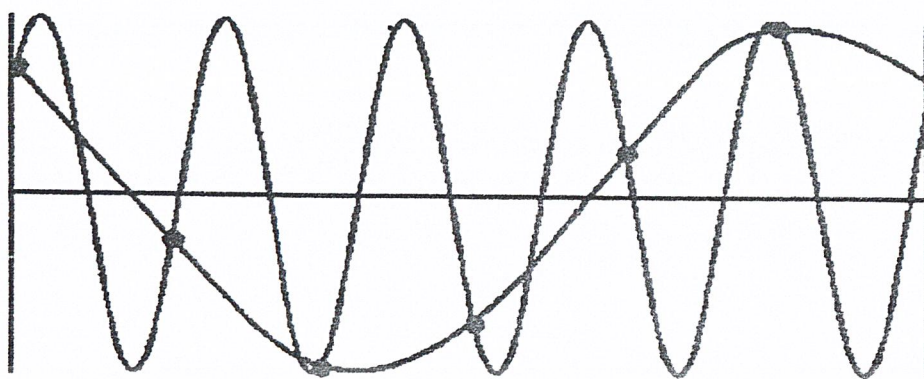


ก) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 6 เท่าของสัญญาณไซน์



ข) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 เท่าของสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 1.2 เท่าของสัญญาณไซน์

### รูปที่ 3. 10 การสุ่มสัญญาณไซน์ด้วยความถี่ค่าต่างกัน

จากรูปความถี่ในการสุ่มสัญญาณที่มีค่ามากกว่า 2 เท่า ของสัญญาณความถี่ไซน์ จะทำให้สัญญาณที่ได้จากการสุ่มนี้มีความถี่เท่าเดิมและถ้าความถี่ในการสุ่มสัญญาณยังมีค่ามากความถี่ของสัญญาณยังมีค่าน้อยลง จากรูปที่ 3. 10 ค. ความถี่ในการสุ่มสัญญาณมีค่า 1.2 เท่าของสัญญาณไซน์ (น้อยกว่า 2 เท่า) มีผลทำให้เกิด Aliasing  $f_s = 2f_M$  เรียกความถี่นี้ว่า ความถี่ในควิสต์ (Nyquist frequency) หรืออัตราการสุ่มของในควิสต์ (Nyquist Sampling Rate) ในการป้องกันไม่ให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลสัญญาณผิดพลาดอันเนื่องมาจาก Aliasing จึงมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำให้กับสัญญาณที่ต้องการจะวัด เรียกว่าวงจรนี้ว่า AntiAliasing Filter โดยให้มีจุดคutoffต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความถี่ของความถี่ที่ใช้ในการสุ่มของสัญญาณ โดยสรุปแล้วทฤษฎีในการสุ่มสัญญาณจะต้องมีการจำกัดแถบความถี่ของสัญญาณ และความถี่ในการสุ่มสัญญาณจะต้องการวัด

#### 3. 4. 3 การสุ่มสัญญาณแบบสม่ำเสมอ

หลักการส่วนใหญ่ทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีประมวลผลสัญญาณดิจิทัล จะสมมติให้อัตราการสุ่มสัญญาณมีค่าสม่ำเสมอ (Uniform Sampling or Periodic Sampling) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $T$  ในทางปฏิบัติการแปลงสัญญาณ Continuous-Time ให้เป็น Discrete-Time จะใช้ไอซีเอทูดิ (Analog to Digital Converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป จากรูปที่ 3. 6 สัญญาณ  $p(t)$  คือสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมให้เอทูดิเริ่มต้นแปลงสัญญาณ หรือสัญญาณ Start of Conversion ของเอทูดิ นั่นเอง สัญญาณ  $p(t)$  ได้มาจากระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวส่ง เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีการทำงานเป็นแบบวนรูป ดังนั้นช่วงเวลาในการสุ่ม  $T$  จึงมีค่าเท่ากันตลอด ทำให้สามารถประมวลผลสัญญาณได้ตามหลังการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทั่วไป แต่ในกรณีที่ค่า  $T$  มีค่าไม่เท่ากันตลอดเนื่องมาจากการเขียนโปรแกรมควบคุมไม่ดีจะทำให้การสุ่มสัญญาณเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ (Nonuniformly Sampling Signal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค้บข้อมูลดิจิตอลที่ได้จึงไม่สามารถนำมาคำนวณตามหลักการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลทั่วไป หรือ Fourier Transform ได้

### 3. 5 คุณสมบัติของ ADC

#### 3. 5. 1 สมการอินพุท-เอาต์พุท

สัญลักษณ์และคุณสมบัติระหว่างสัญญาณอนาล็อกอินพุทกับสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุทของวงจร ADC ขนาด 4 บิต แสดงดังรูปที่ 3.11 ประกอบด้วยช่องรับสัญญาณอนาล็อกอินพุท 1 ช่องสัญญาณและช่องจ่ายสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุทจำนวน 4 ช่องซึ่งแสดงถึงลักษณะของวงจร ADC ขนาด 4 บิต ค่ารีโซลูชันของวงจร ADC สามารถกำหนดความหมายได้สองลักษณะเช่นกัน ดังนี้

1. ค่ารีโซลูชันของวงจร ADC ขนาด n บิต มีค่าขึ้นกับจำนวนบิตสูงสุดของสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุท ซึ่งสามารถเขียนอธิบายได้ว่า

$$\text{resolution} = 2^n \tag{3.1}$$

2. ค่ารีโซลูชัน หมายถึง อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอนาล็อกอินพุท  $V_{in}$  ที่ทำให้สัญญาณดิจิตอลเอาต์พุทเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งบิต LSB ดังนั้นหากทราบค่าแรงดันอินพุทเต็มสเกล  $V_{ifs}$  ( full-scale input voltage) ที่ทำให้สัญญาณดิจิตอลเอาต์พุทมีสถานะ โวลิจเป็นหนึ่ง ทั้งหมดทุกบิตแล้ว จะสามารถคำนวณหาค่ารีโซลูชันของวงจร ได้เท่ากับ

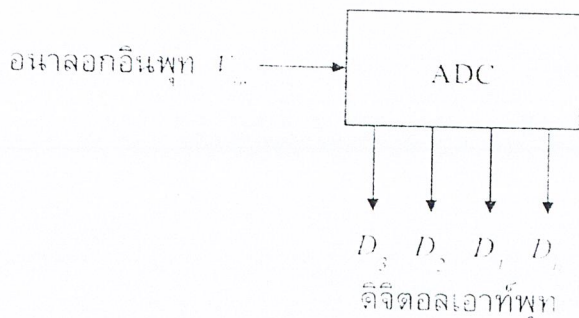
$$\text{resolution} = \frac{V_{ifs}}{2^n - 1} \tag{3.2}$$

สำหรับสมการอินพุท-เอาต์พุทของวงจร ADC สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{สัญญาณดิจิตอลเอาต์พุท} = \text{เลขฐานสองของ } D \tag{3.3}$$

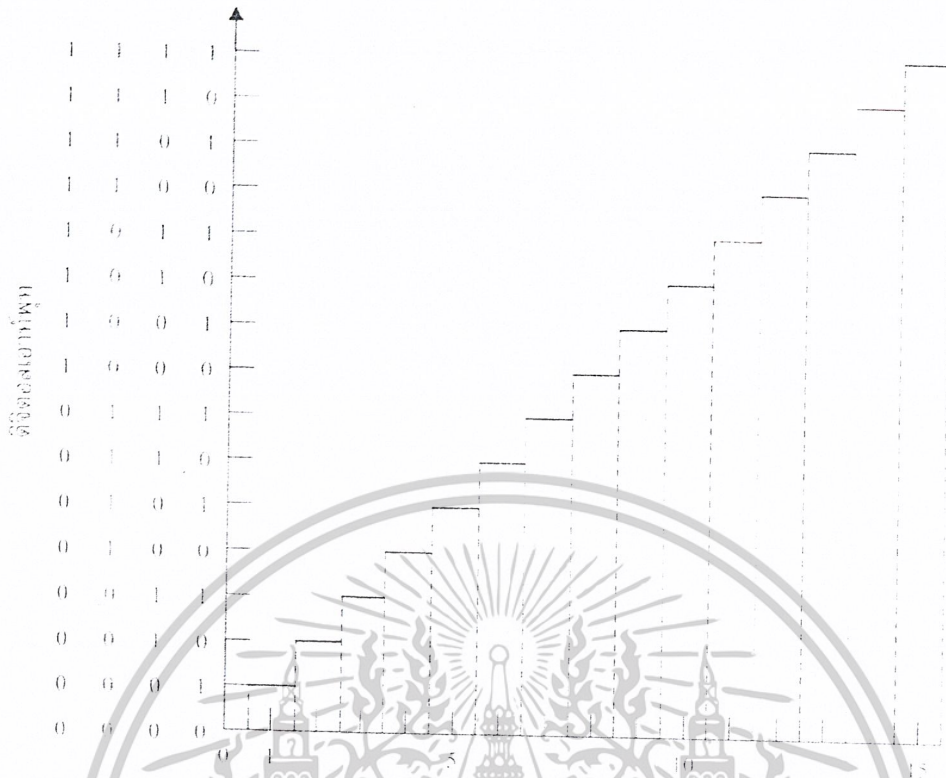
เมื่อ D มีค่าเท่ากับเลขฐานสิบของสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุท หรือ D มีค่าเท่ากับจำนวนของ LSB ของสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุท ซึ่ง D สามารถหาได้จาก

$$D = \frac{V_{in}}{\text{resolution}} \tag{3.4}$$

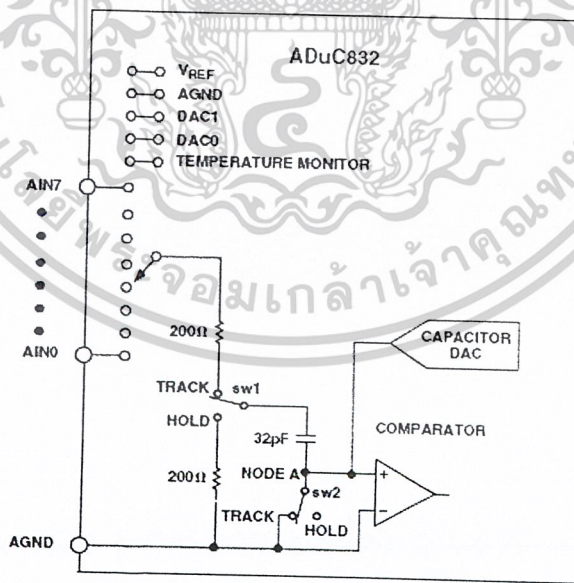


(ก) สัญลักษณ์ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต



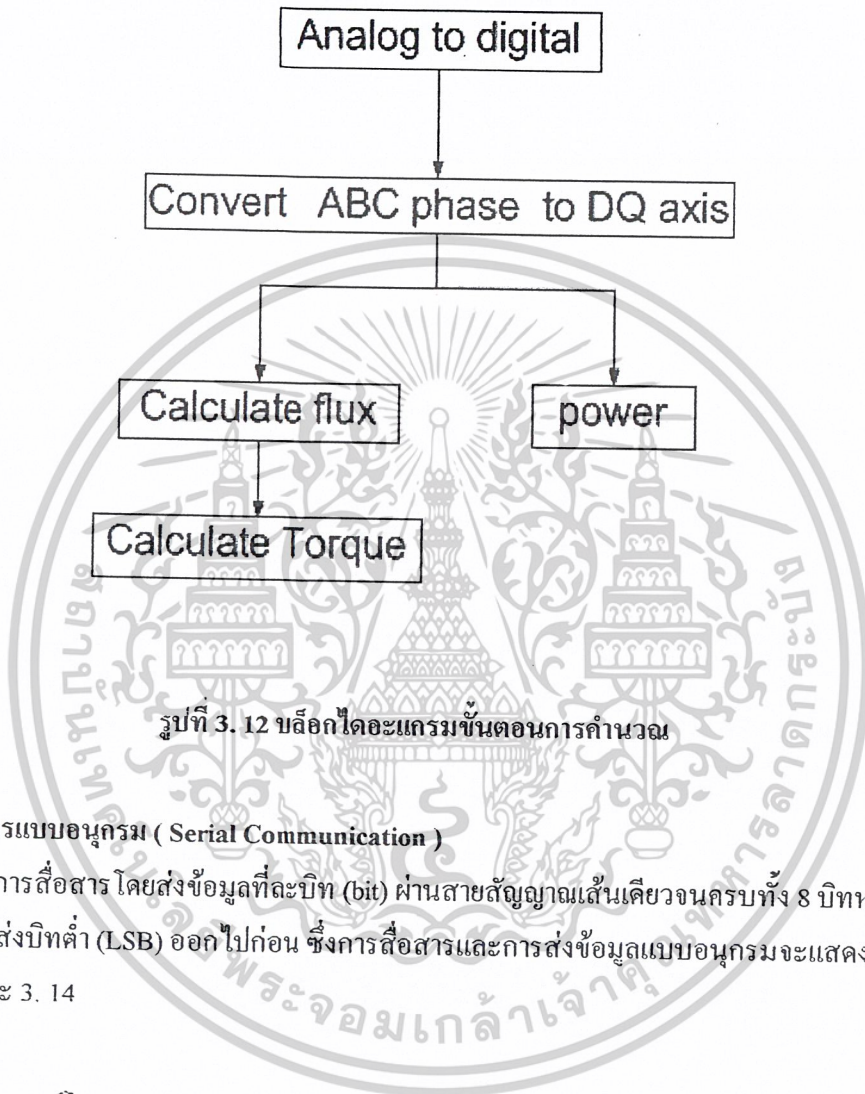
(ค) โครงสร้างลักษณะภายใน ADC

รูปที่ 3. 11 วงจร ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. 6 การคำนวณ

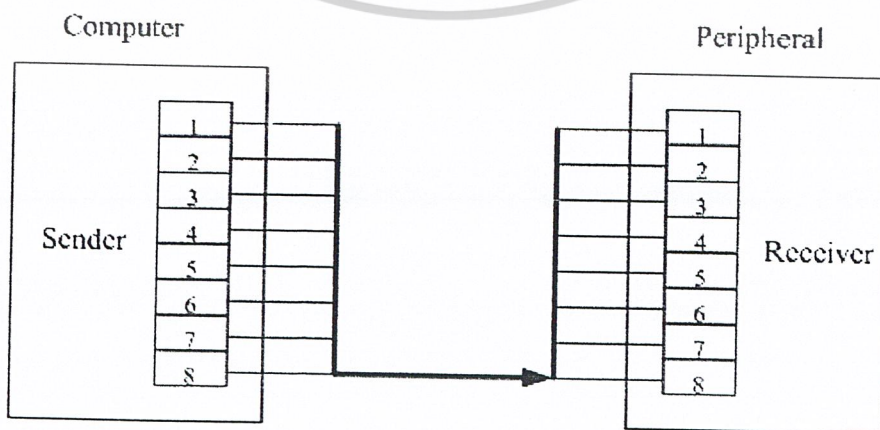
การคำนวณในตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเพื่อหาค่า จะอาศัยสมการในบทที่ 2 ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณสามารถอธิบายตามบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3. 12 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการคำนวณ

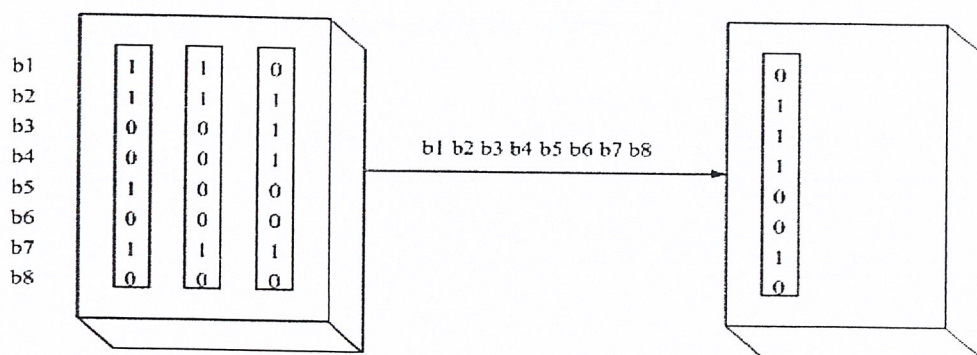
### 3. 7 การสื่อสารแบบอนุกรม ( Serial Communication )

เป็นการสื่อสาร โดยส่งข้อมูลที่ละบิต (bit) ผ่านสายสัญญาณเส้นเดียวจนครบทั้ง 8 บิตหรือ 1 ไบท์ (byte) โดยจะส่งบิตต่ำ (LSB) ออกไปก่อน ซึ่งการสื่อสารและการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3. 13 และ 3. 14



รูปที่ 3. 13 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 14 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

### 3. 7. 1 ลักษณะของการสื่อสารตามมาตรฐาน

ในการติดต่อสื่อสารและการรับส่งข้อมูลนั้นจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการสื่อสารเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่มีปัญหาในการสื่อสารเกิดขึ้น โดยส่วนมากมาตรฐานในการสื่อสารจะกล่าวถึงคุณสมบัติสำคัญๆ ที่ใช้ในการสื่อสาร เช่น ลักษณะทางกล ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า ลักษณะการทำงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

ในปัจจุบันสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารส่วนใหญ่จะใช้สัญญาณดิจิทัล(Digital Signal) เป็นหลัก และสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารส่วนมากจะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีระดับสัญญาณ แบบ TTL ซึ่งถ้าทำการติดต่อสื่อสารในลักษณะของระดับสัญญาณแบบ TTL แล้วจะสามารถทำการติดต่อสื่อสารได้โดยตรง แต่ในหลายกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องสื่อสารด้วยสัญญาณในระดับอื่นที่ไม่ใช่ระดับสัญญาณแบบ TTL หรือไม่ได้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสาร แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยการแปลงสัญญาณที่ต้องการสื่อสารให้เป็นสัญญาณตามมาตรฐาน โดยที่แต่ละมาตรฐานมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่ใช้ในโรงงานนี้

### 3. 7. 2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association :EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็คเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 ถึง -12 แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล ( Data Terminal Equipment :DTE ) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating :DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้งานจริงต้องมีการนำใบแก้ไขข้อกำหนดต่างๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่าน RS-232

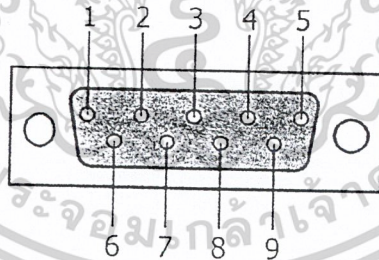
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้เห็นได้ชัดเจนคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่ไม่เต็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับ โมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่มีความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

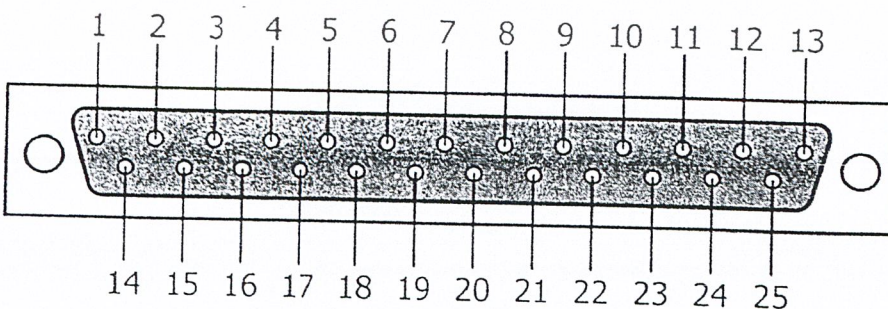
### 3. 7. 3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนักจึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 3.14

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูปที่ 3.14 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 3.15 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงไม่ต้องผ่านโมเด็มโดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 3.15 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้



(ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขา หรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขา หรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

รูปที่ 3.15 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data carrier detect: DCD	อินพุต
2	3	Received Data: RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data: TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready :DTR	เอาต์พุต
5	7	Single Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready: DSR	อินพุต
7	4	Request to send : RST	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator : RI	อินพุต

ตารางที่ 3. 1 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

- **Data Carrier Detect: DCD** หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect: CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาหะจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

-**Receive Data : RD** หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

-**Transmitted Data : TD** หรือ TxD ใช้ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

-**Data terminal Ready : DTR** เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น ต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อเข้ากับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาหะ

-**Signal Ground : GND** กราวด์ระบบ

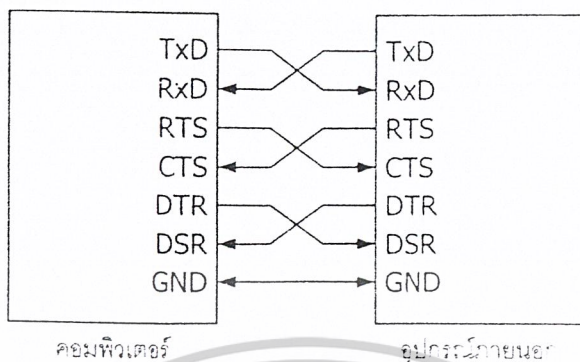
-**Data Set Ready : DSR** ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

-**Request To send : RTS** เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

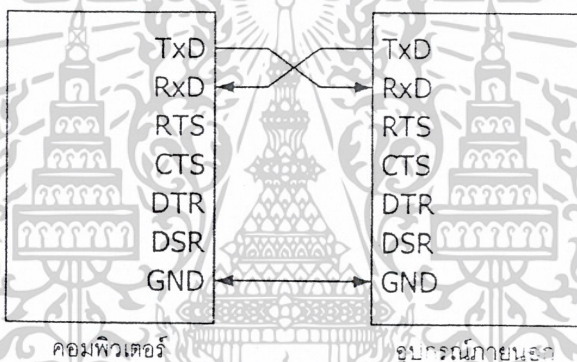
-**Clear To Send :CTS** ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**-Ring Indicator : RI** ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งานจะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น



(ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null modem



(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

รูปที่ 3. 16 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ

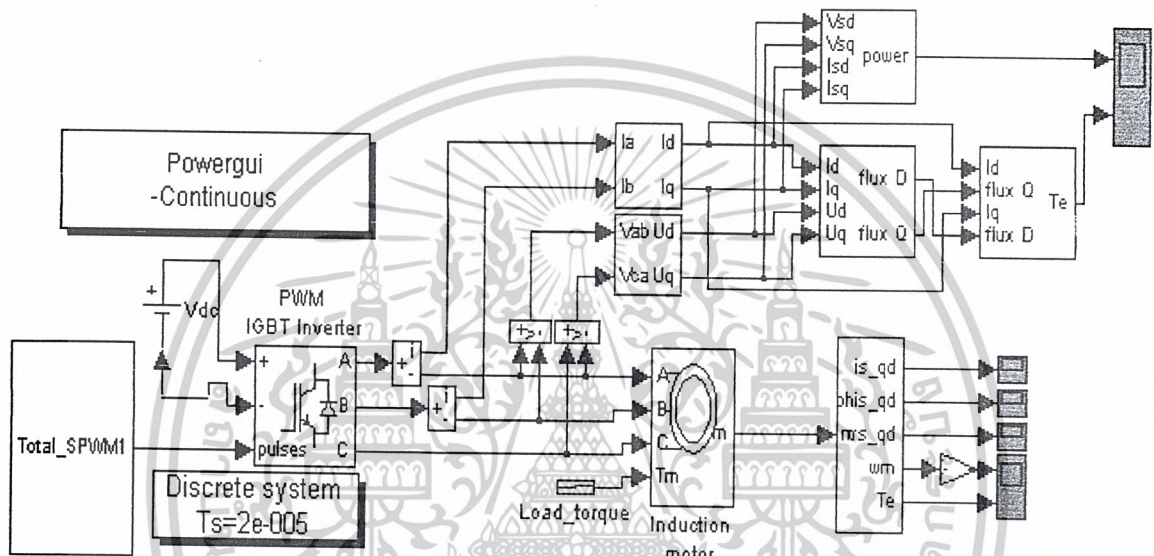
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

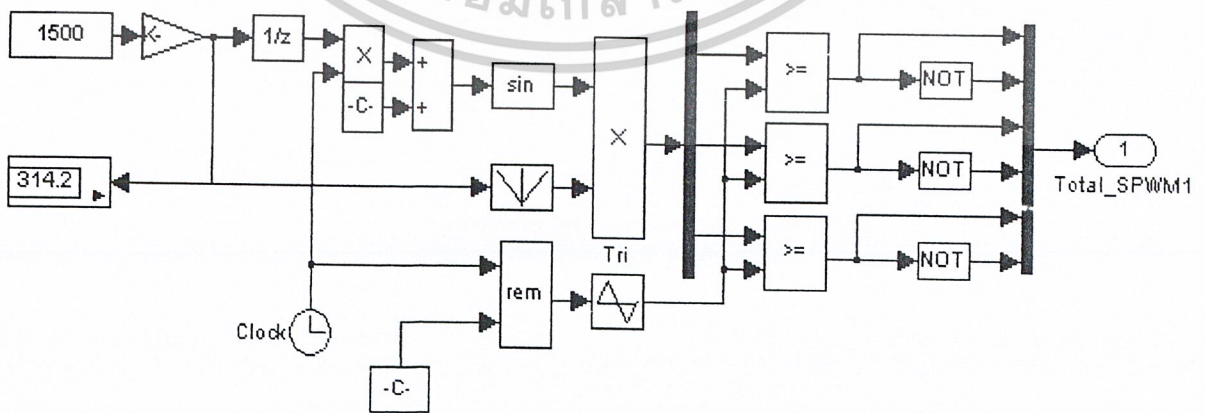
การจำลองการทำงาน

4. 1 การจำลองระบบโครงงานด้วย Matlab

ในการจำลองระบบนี้จะอาศัยสมการที่กล่าวมาในบทก่อนหน้านี โดยจะเทียบให้เห็นตามสมการต่างๆ



รูปที่ 4. 1 การจำลองระบบโดยรวม



รูปที่ 4. 2 แบบจำลองการสร้างสัญญาณ PWM

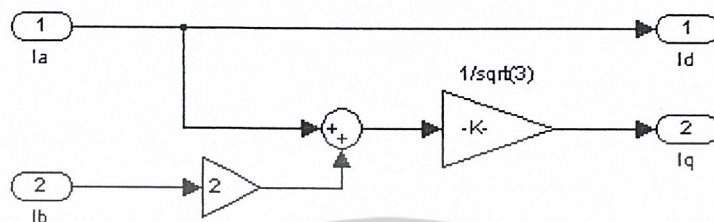
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหา  $I_d$  และ  $I_q$

จากสมการ

$$I_d = i_a$$

$$I_q = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_a + 2i_b)$$



รูปที่ 4.3 แบบจำลองการหาค่า  $I_d$  และ  $I_q$

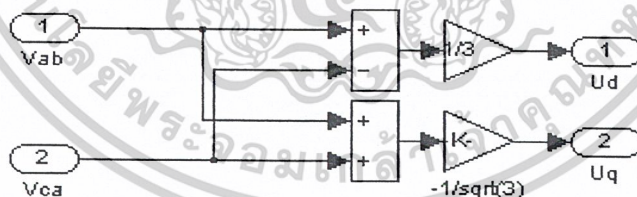
การหา  $V_d$  และ  $V_q$

จากสมการ

$$V_d = \frac{1}{3}(v_{ba} - v_{ac})$$

$$V_q = -\frac{1}{\sqrt{3}}(v_{ac} - v_{ba})$$

หัวข้อใช้  $V_d$  และ  $V_q$  และในรูปใช้  $U_d$  และ  $U_q$  ซึ่งเป็นค่าเดียวกัน



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการหาค่า  $V_d$  และ  $V_q$

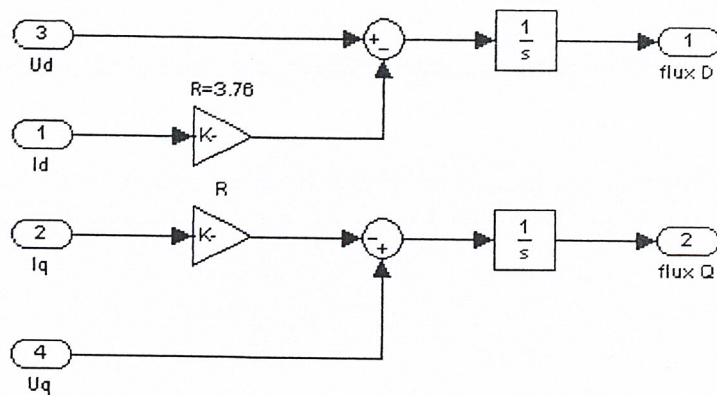
การหาค่า  $\psi_d$  และ  $\psi_q$

จากสมการ

$$\psi_d = \int (V_d - I_d R) dt$$

$$\psi_q = \int (V_q - I_q R) dt$$

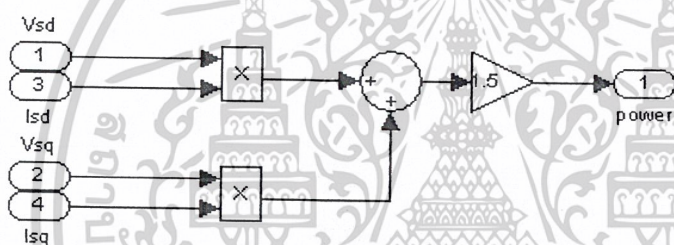
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แบบจำลองการหาค่า  $\psi_d$  และ  $\psi_q$

การหาค่ากำลัง

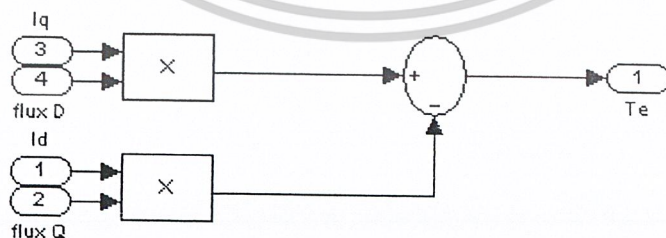
จากสมการ 
$$P = \frac{3}{2} (V_d I_d + V_q I_q)$$



รูปที่ 4.6 แบบจำลองการหาค่ากำลัง

การหาค่าแรงบิด

จากสมการ 
$$t_e = \psi_d I_q - \psi_q I_d$$



รูปที่ 4.7 แบบจำลองการหาค่าแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

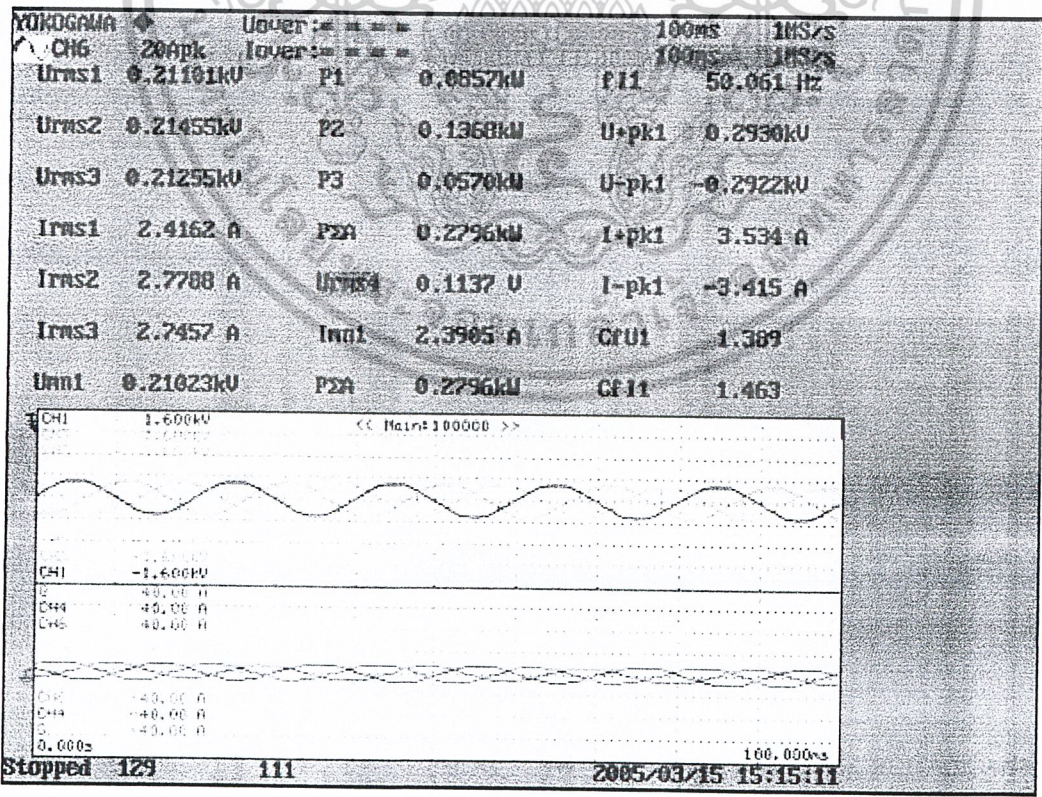
ผลการทดลองที่ได้ทางคอมพิวเตอร์ จะแสดงการเปรียบเทียบ กับผลที่ได้จากการจำลองใน Matlab , ค่าจริงที่วัดจาก ออสซิลโลสโคป( oscilloscope ) ,ใส่โหลดให้กับมอเตอร์ด้วยเครื่อง SIMOREG ของ Siemens และสมการทางวิศวกรรม ผลที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงการทดลองที่จับสัญญาณมอเตอร์ที่ผ่าน Invertor และ ไม่ผ่าน Invertor และจับสัญญาณที่เป็น SIN และ PWM โดยแยกออกเป็น 2 กรณี คือ

- การทดลองโดยสัญญาณที่เป็นไซน์
- การทดลองโดยสัญญาณ PWM

5. 1ลักษณะมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

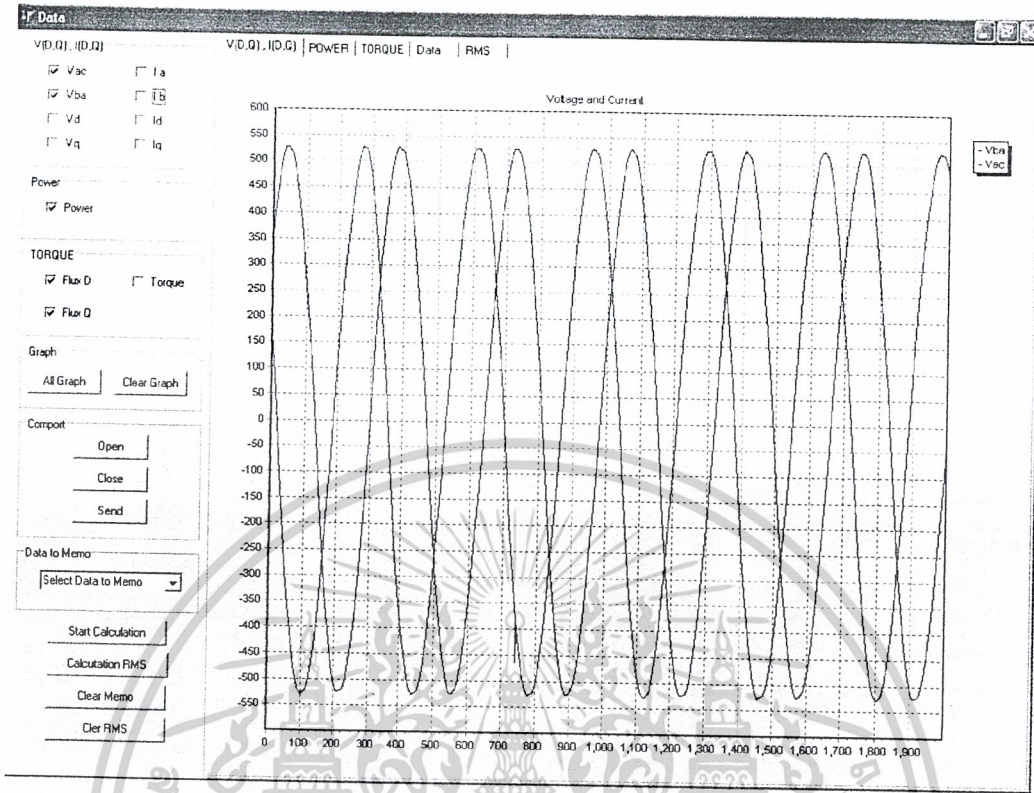
โดยผลจากการวัดค่า กระแส (Current) แรงดัน (Voltage)และ กำลังไฟฟ้า ( Power ) ของ 3 เฟส Induction Motor ด้วยเครื่อง PZ 4000 power meter ของยี่ห้อ YOKOGAWA ขณะไม่มีโหลด

กระแสไฟฟ้า	=	2.7	Amp
แรงดันไฟฟ้า	=	214	Volt
กำลังไฟฟ้า 3 เฟส	=	279.6	Watts

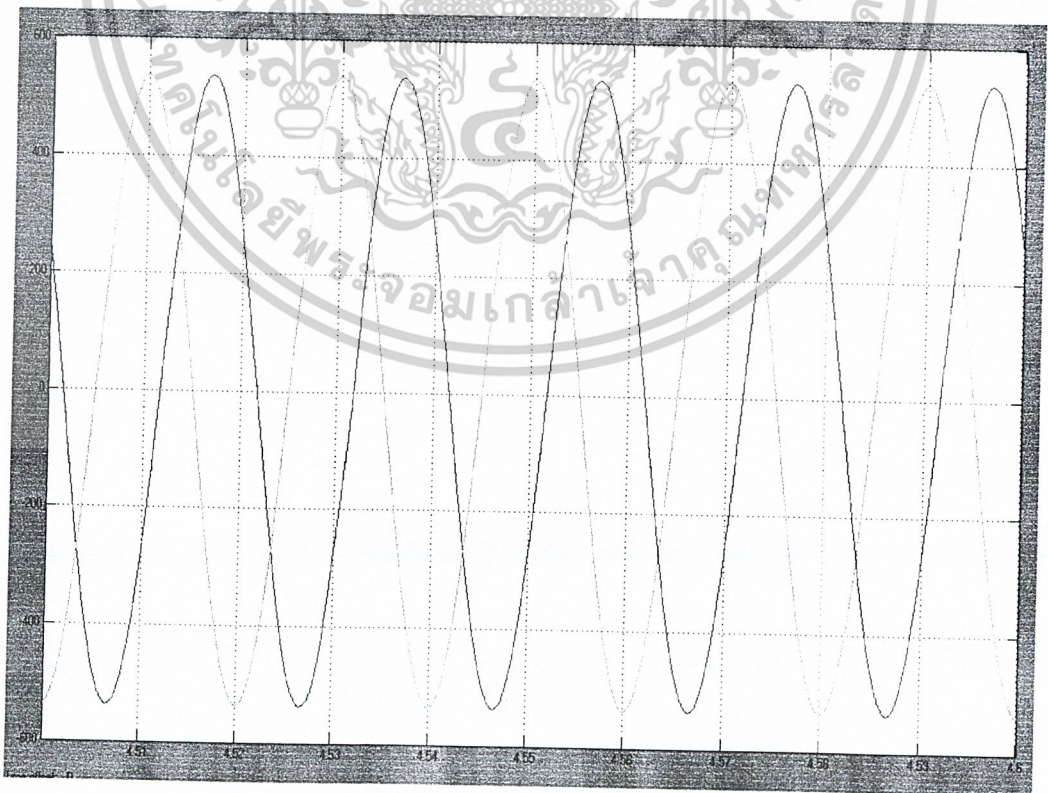


รูปที่ 5. 1 สัญญาณของมอเตอร์ 3 เฟสที่ได้จากเครื่อง PZ 4000 power meter ใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการค้าเท่านั้นและขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูล ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 พิจารณาสัญญาณ sine

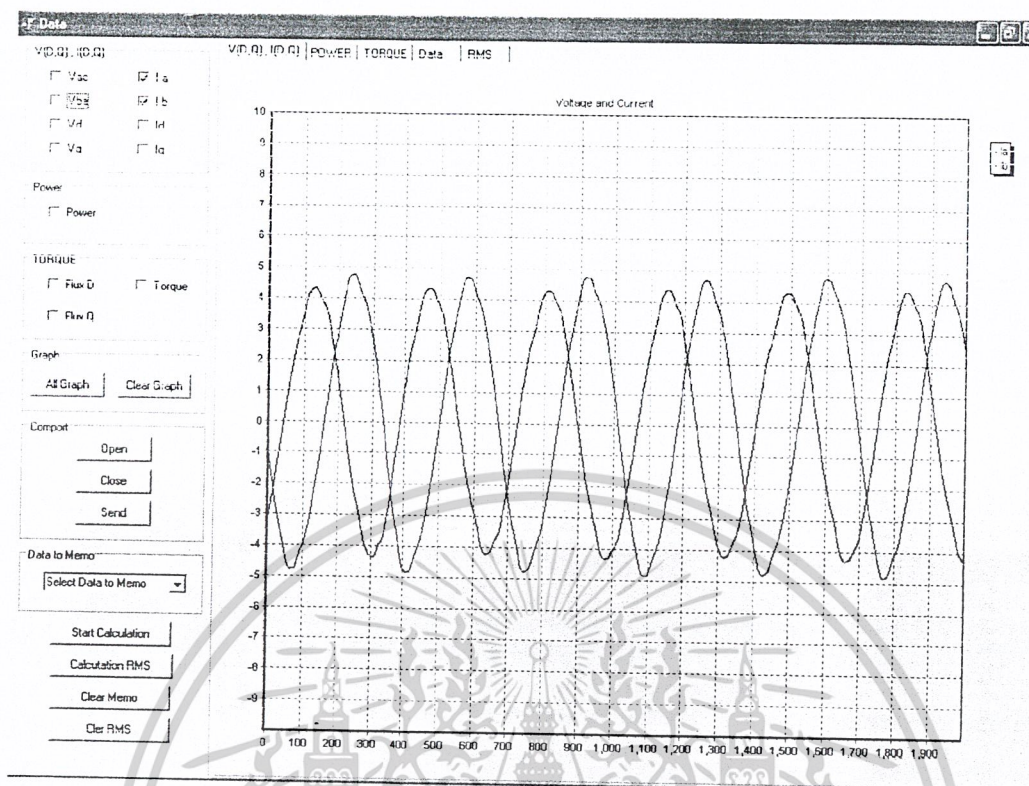


รูปที่ 5.2 สัญญาณแรงดัน Vac , Vba ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

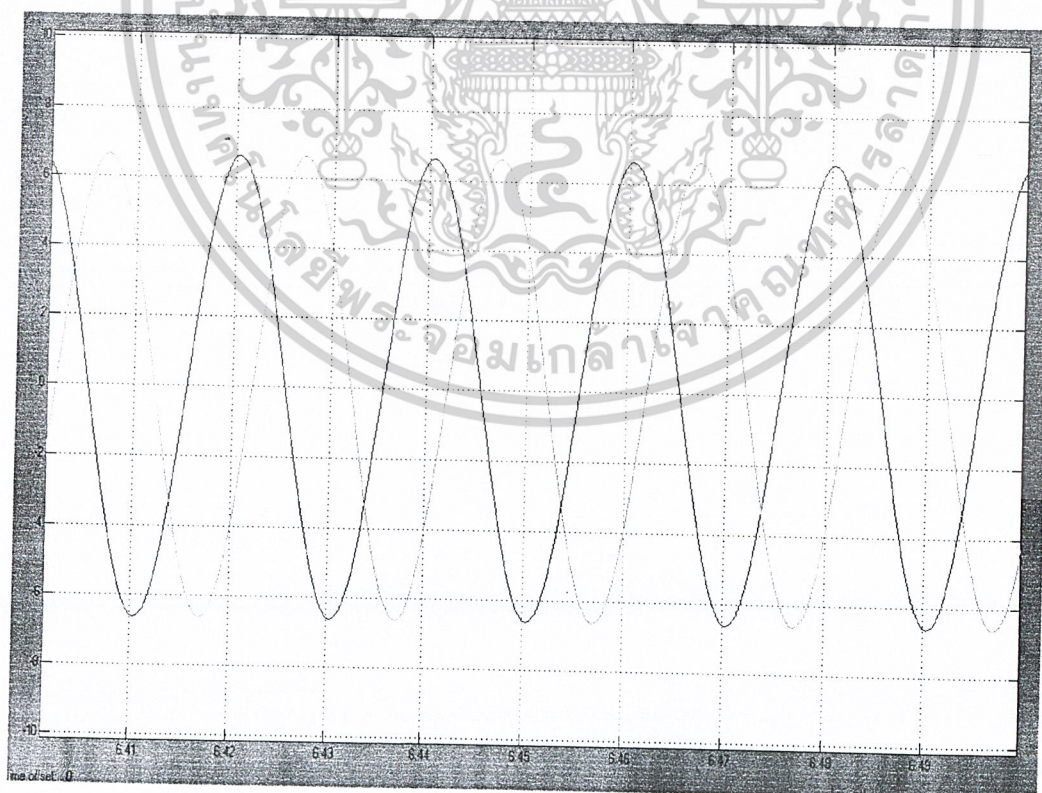


รูปที่ 5.3 สัญญาณแรงดัน Vac , Vba ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

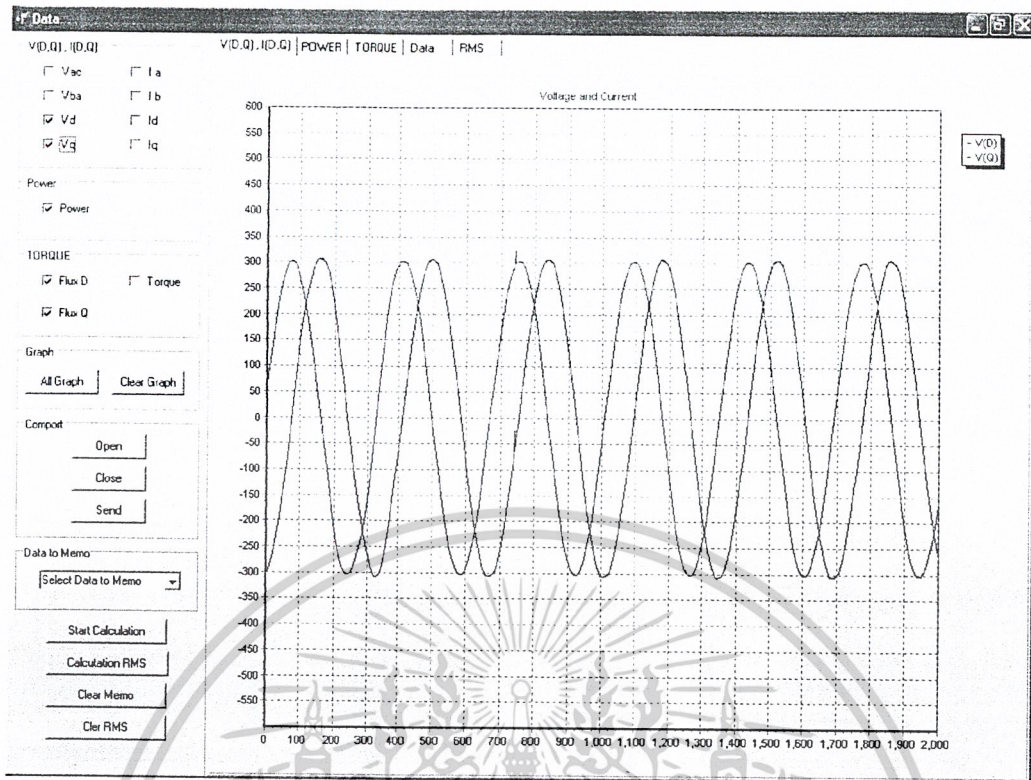


รูปที่ 5.4 สัญญาณกระแส Ia, Ib ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

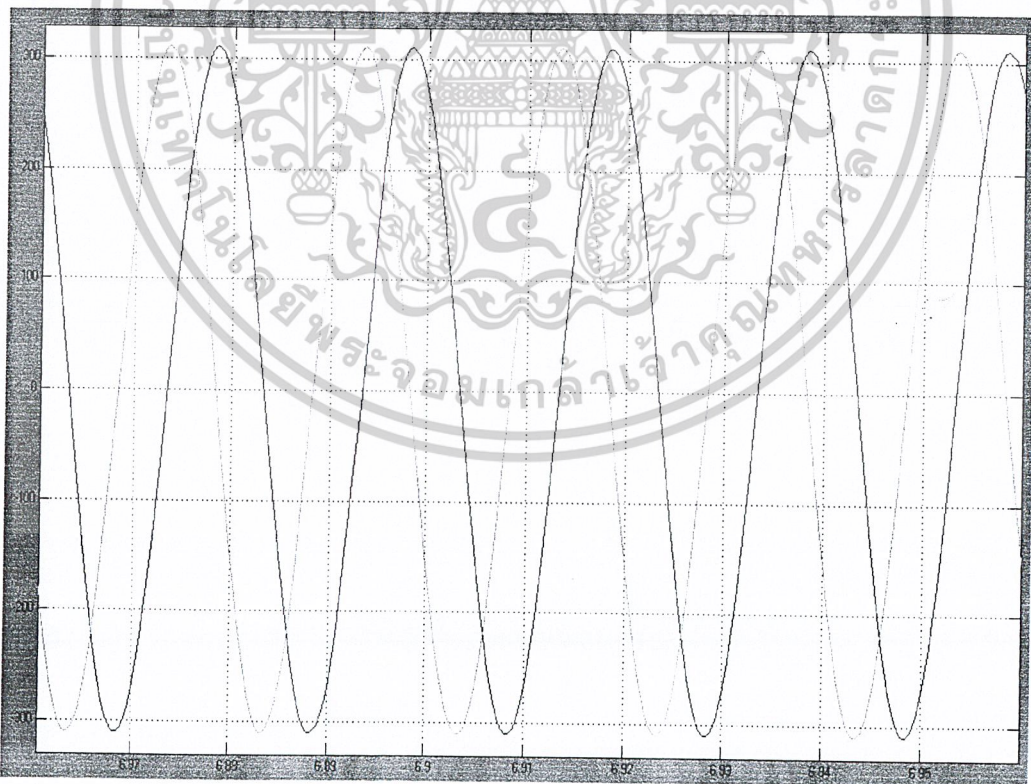


รูปที่ 5.5 สัญญาณกระแส Ia, Ib ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

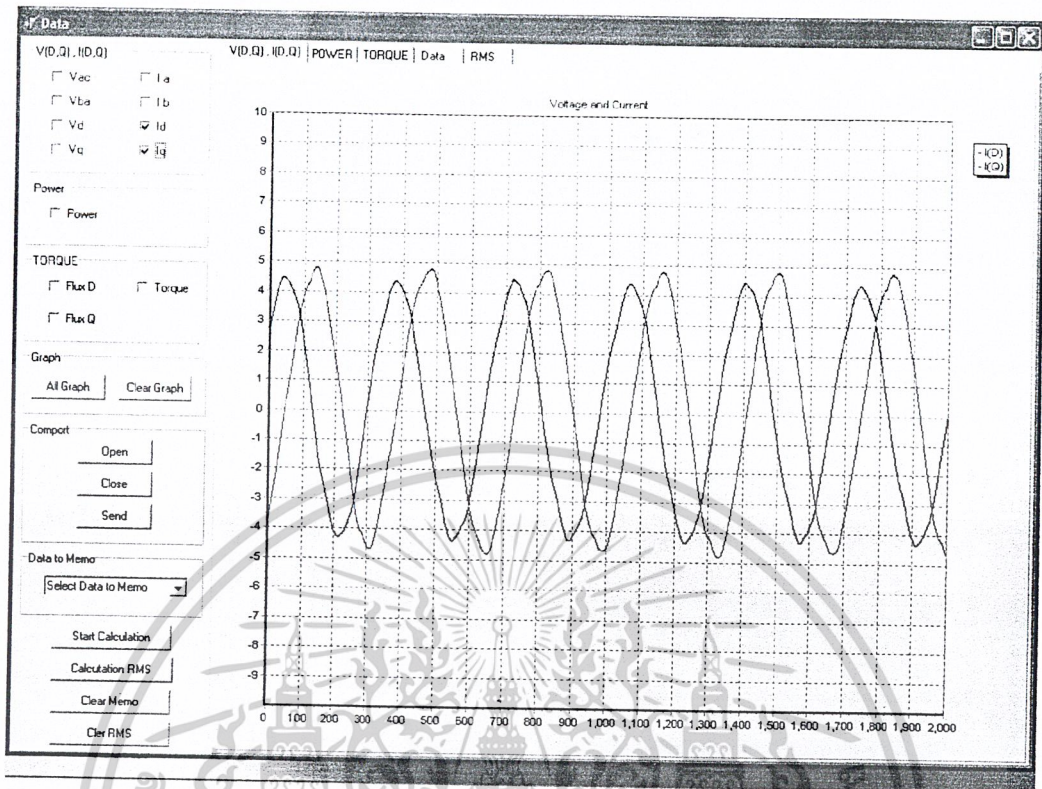


รูปที่ 5.6 สัญญาณแรงดัน  $V_d$ ,  $V_q$  ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

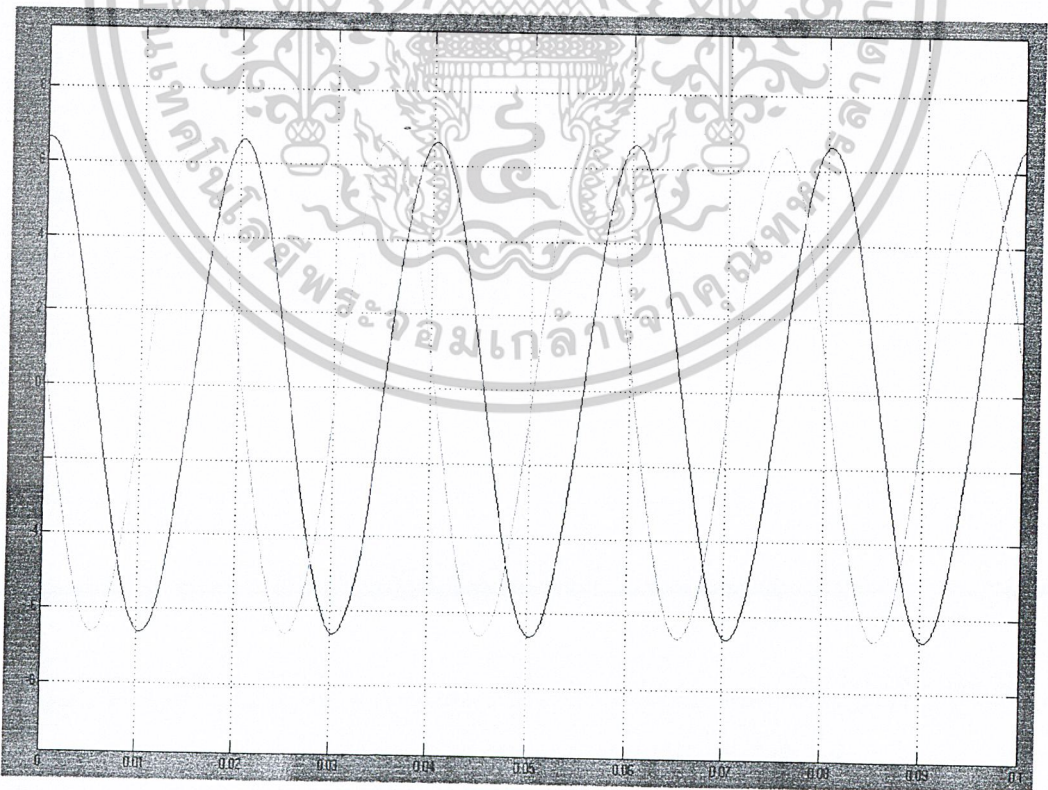


รูปที่ 5.7 สัญญาณแรงดัน  $V_d$ ,  $V_q$  ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

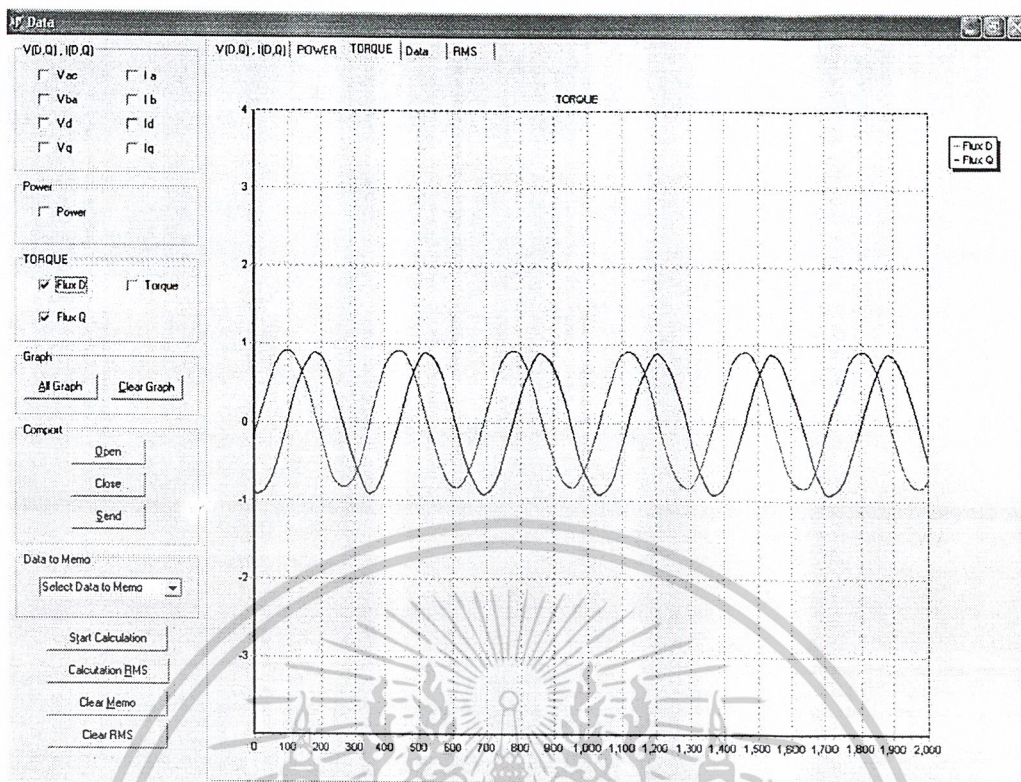


รูปที่ 5.8 สัญญาณกระแส  $I_d$ ,  $I_q$  ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

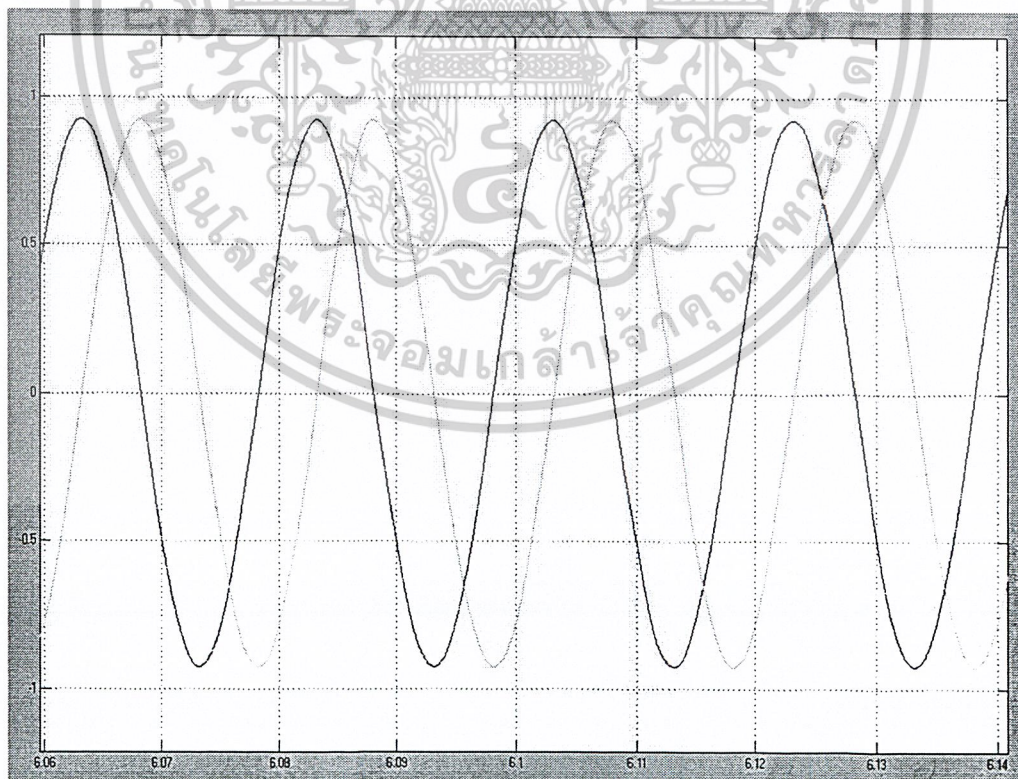


รูปที่ 5.9 สัญญาณกระแส  $I_d$ ,  $I_q$  ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

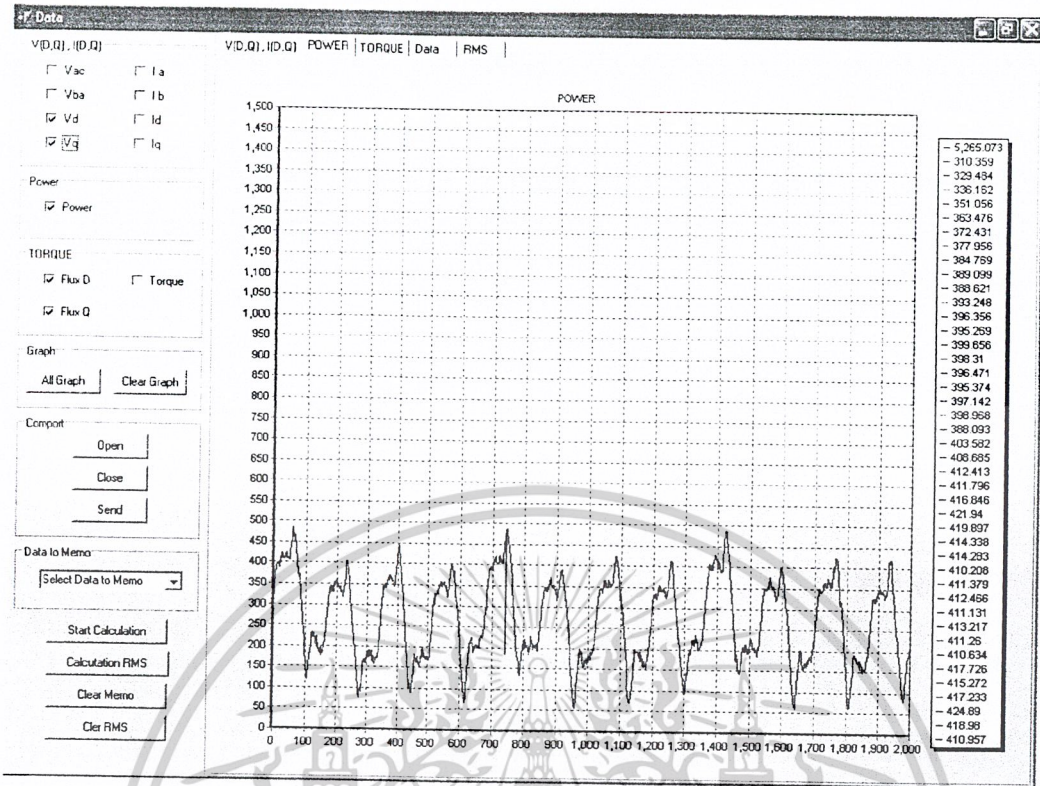


รูปที่ 5.10 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

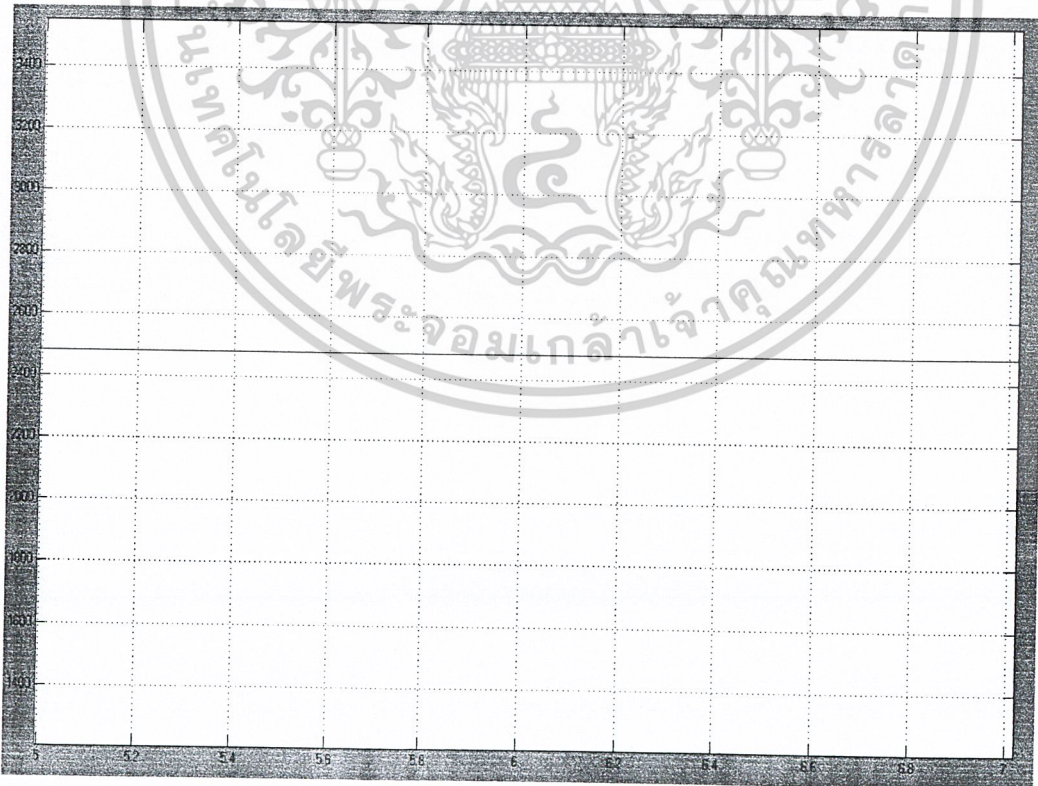


รูปที่ 5.11 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

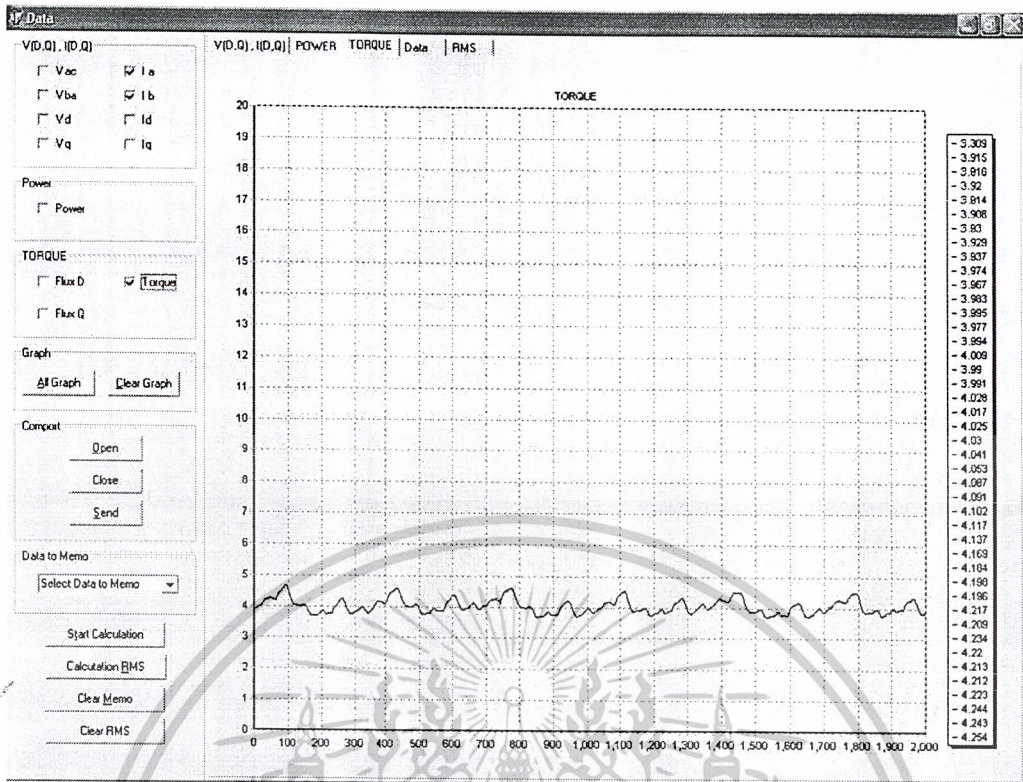


รูปที่ 5.12 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.13 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



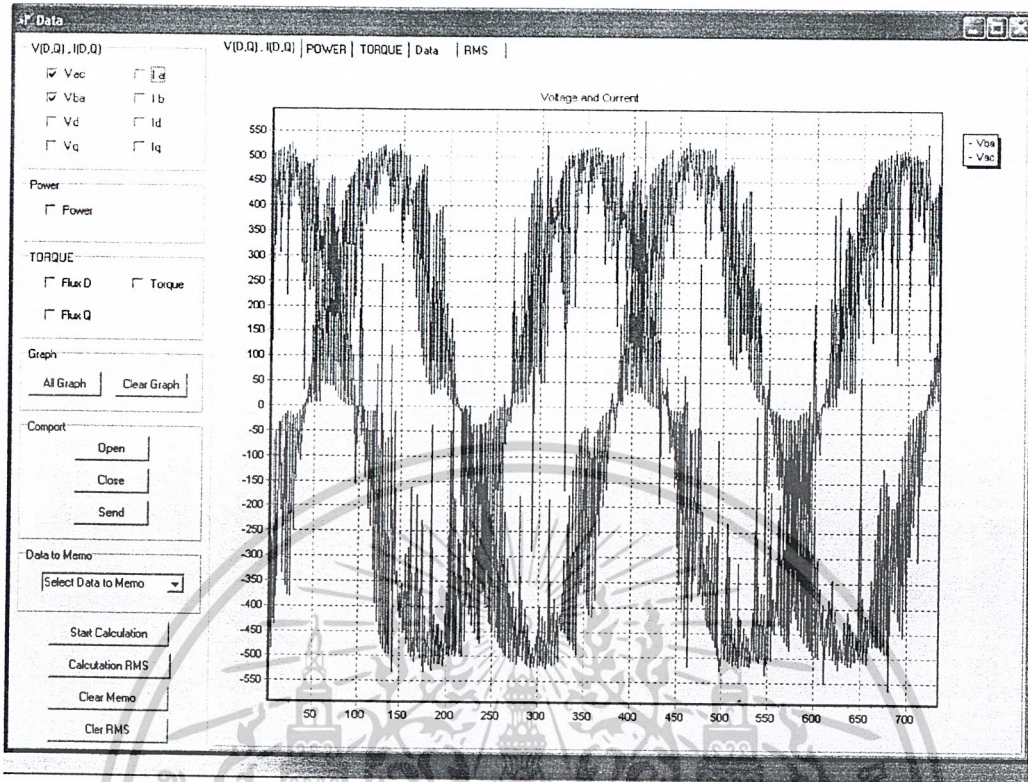
รูปที่ 5.14 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์



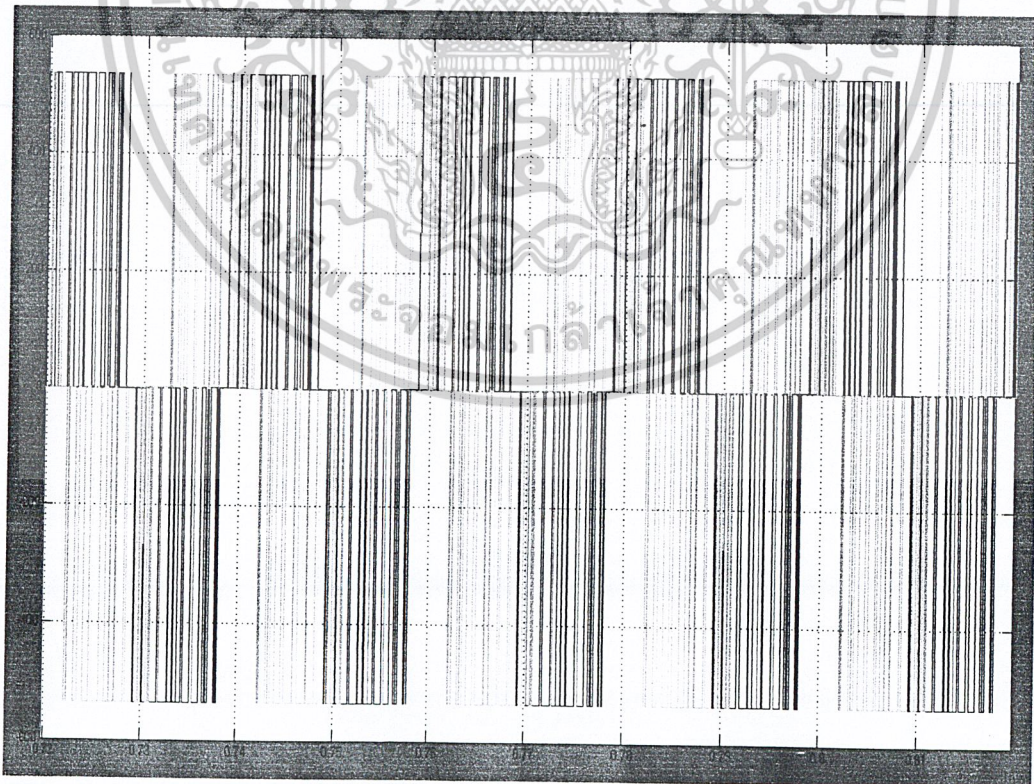
รูปที่ 5.15 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 พิจารณาสัญญาณ PWM

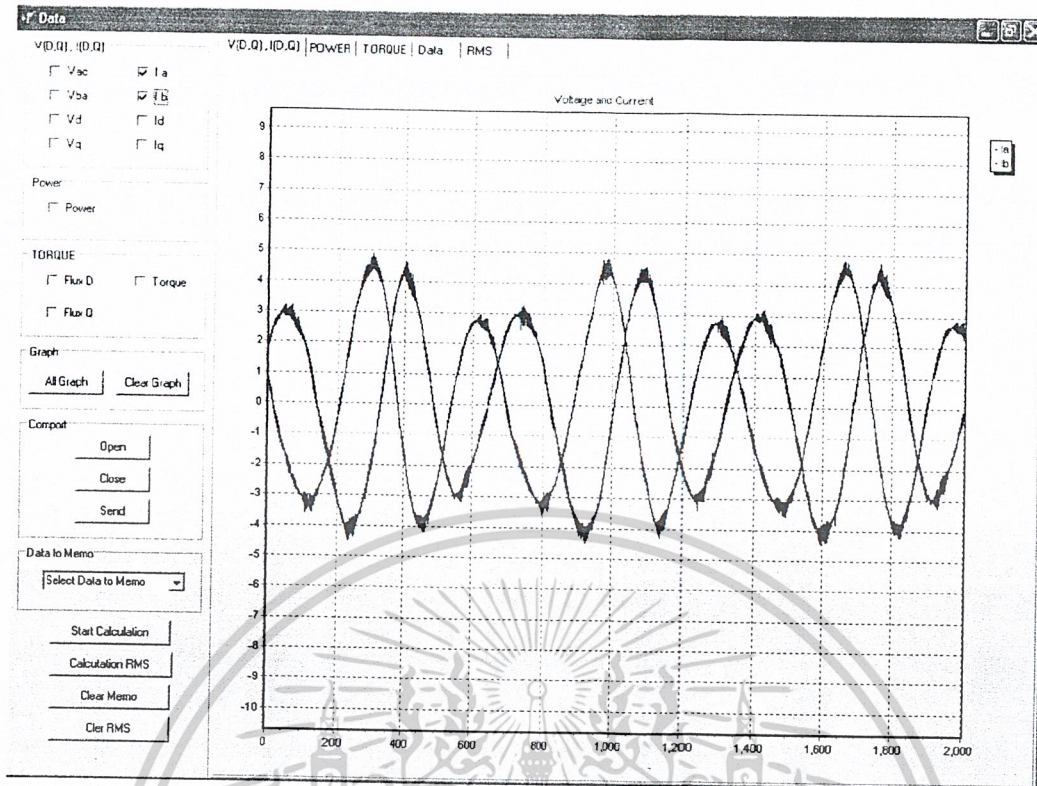


รูปที่ 5.16 สัญญาณแรงดัน (PWM)  $V_{ac}$ ,  $V_{ba}$  ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

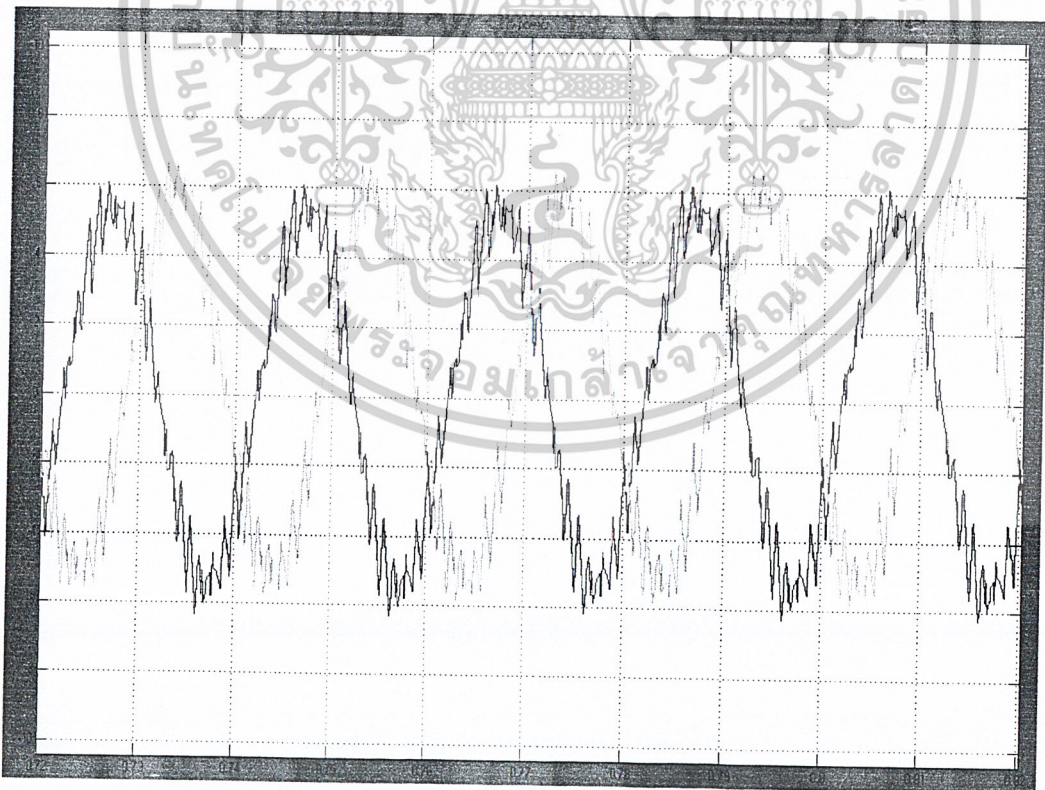


รูปที่ 5.17 สัญญาณแรงดัน (PWM)  $V_{ac}$ ,  $V_{ba}$  ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมืออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

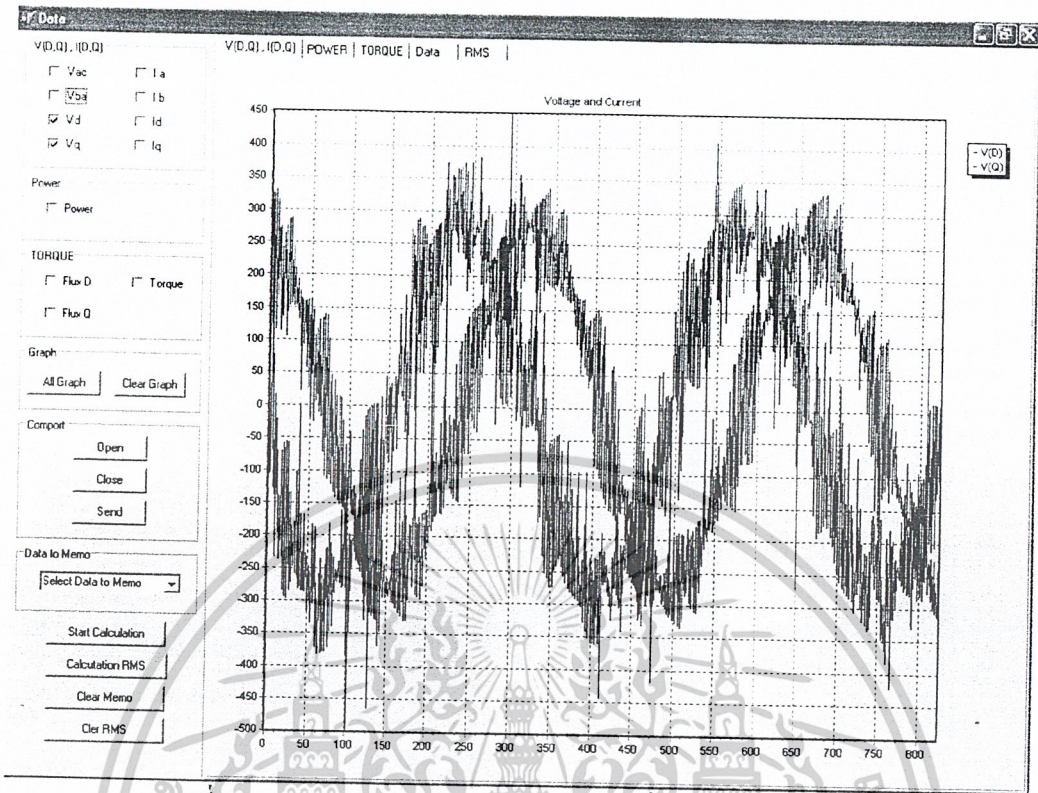


รูปที่ 5.18 สัญญาณกระแส (PWM)  $I_a$ ,  $I_b$  ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

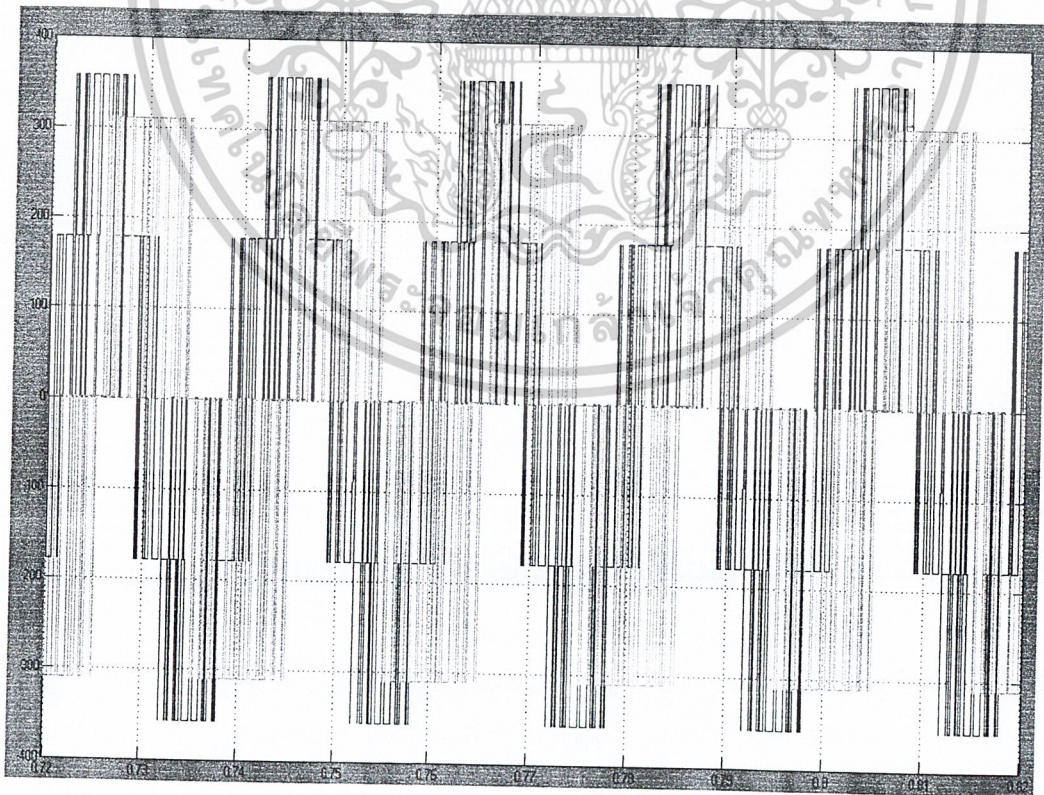


รูปที่ 5.19 สัญญาณกระแส (PWM)  $I_a$ ,  $I_b$  ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

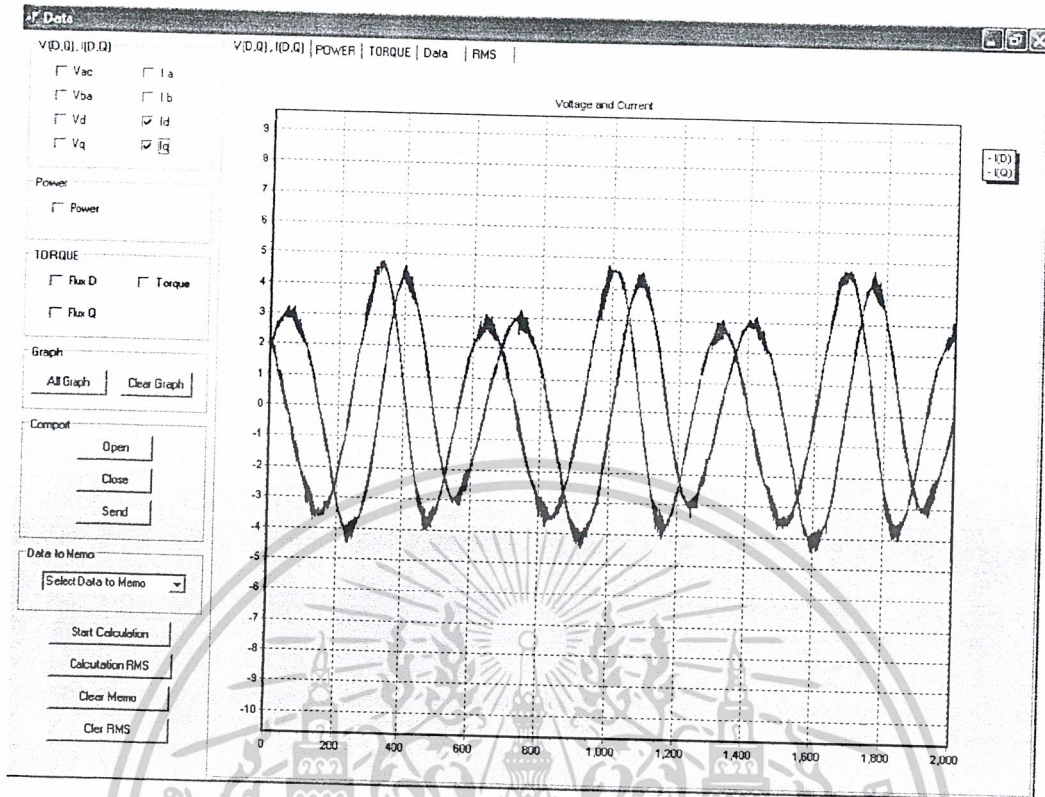


รูปที่ 5. 20 สัญญาณแรงดัน (PWM)  $V_d, V_q$  ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

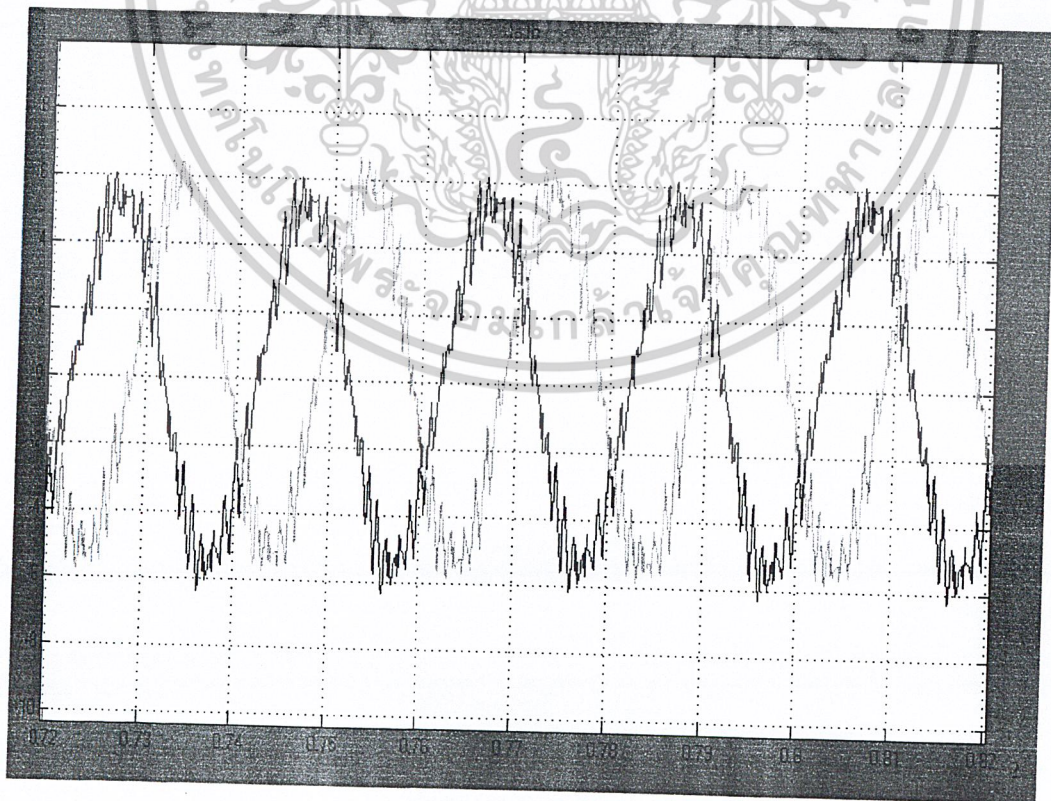


รูปที่ 5. 21 สัญญาณแรงดัน (PWM)  $V_d, V_q$  ที่ได้จาก Matlab นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

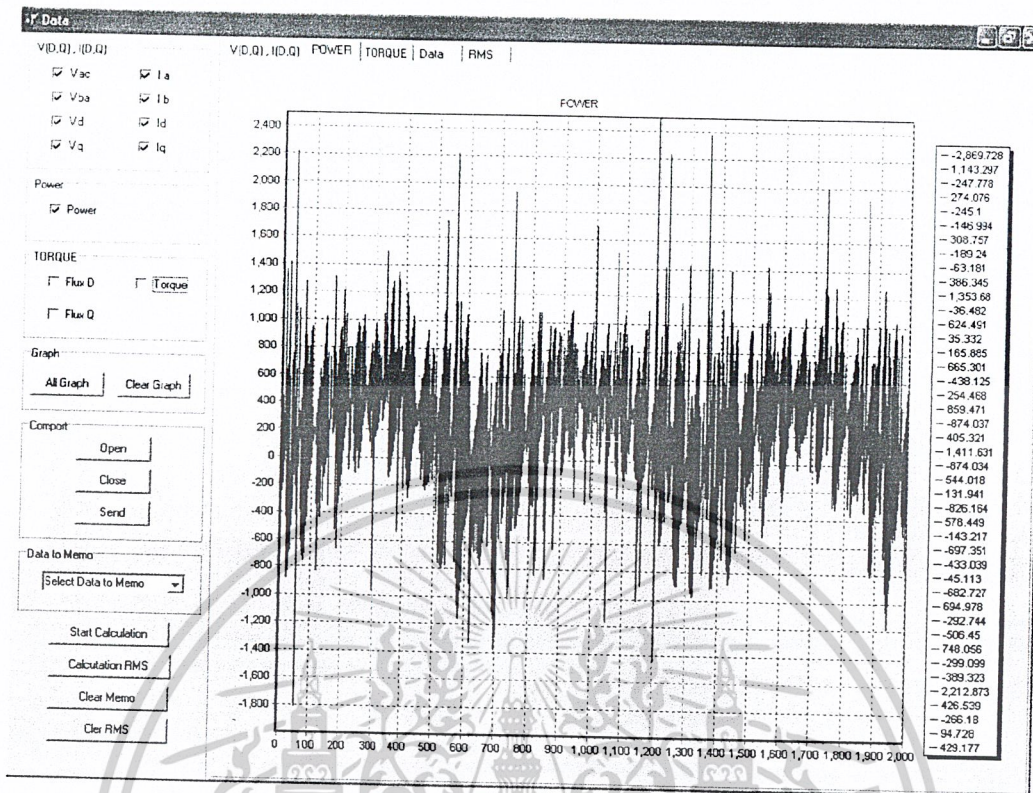
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



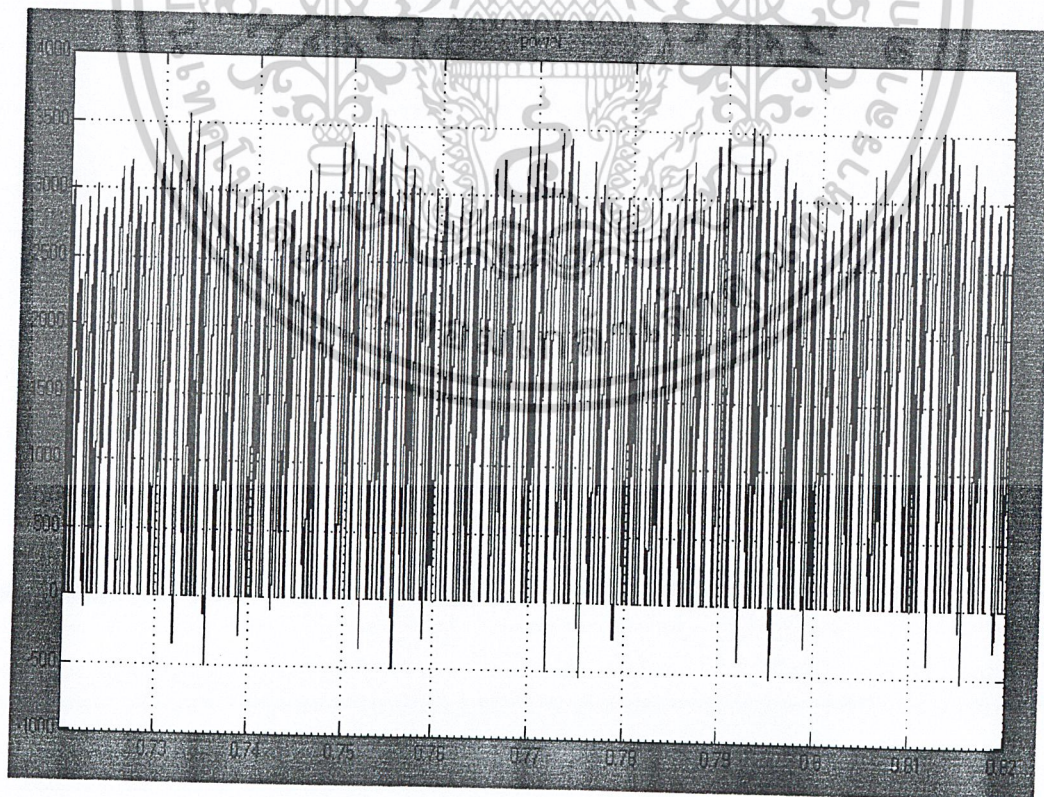
รูปที่ 5.22 สัญญาณกระแส (PWM)  $I_d, I_q$  ที่ได้ทางคอมพิวเตอรื



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ © 2013 โดย บริษัท อีทีเอส จำกัด นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

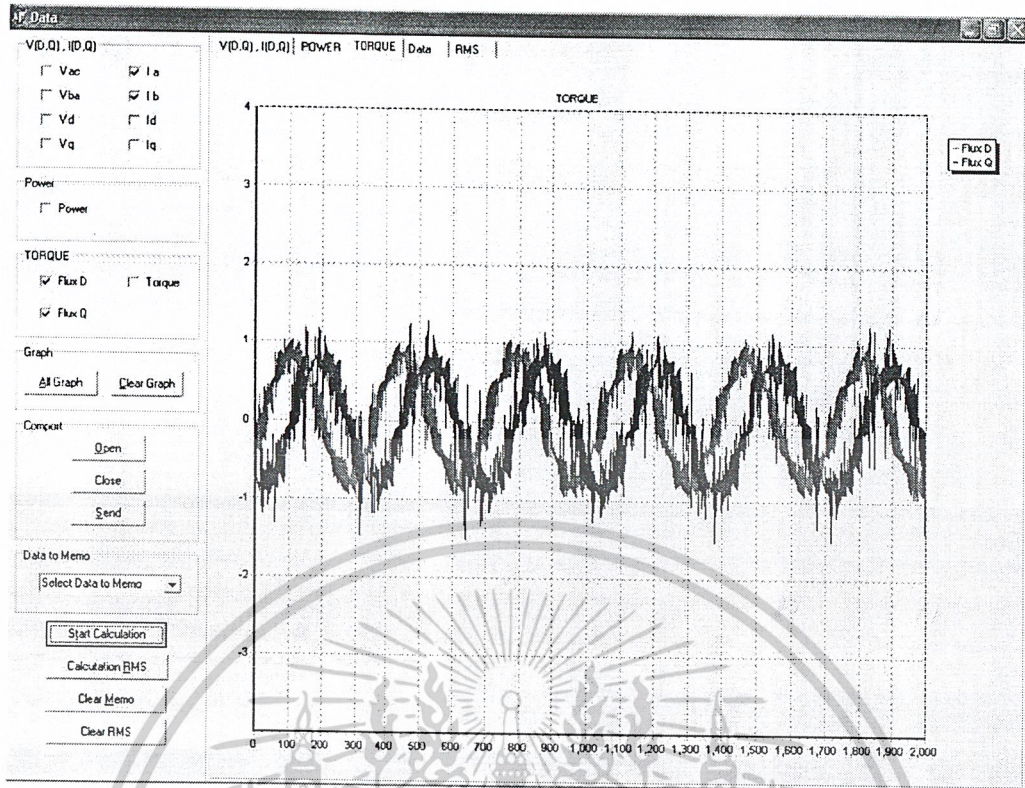


รูปที่ 5.24 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

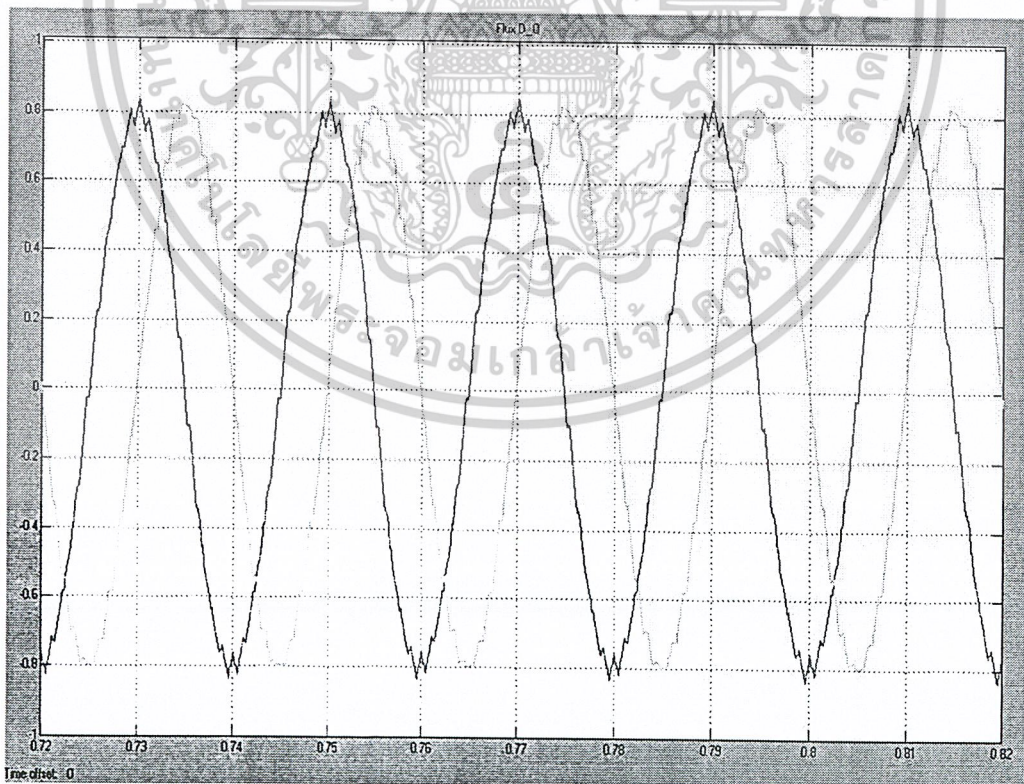


รูปที่ 5.25 สัญญาณกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

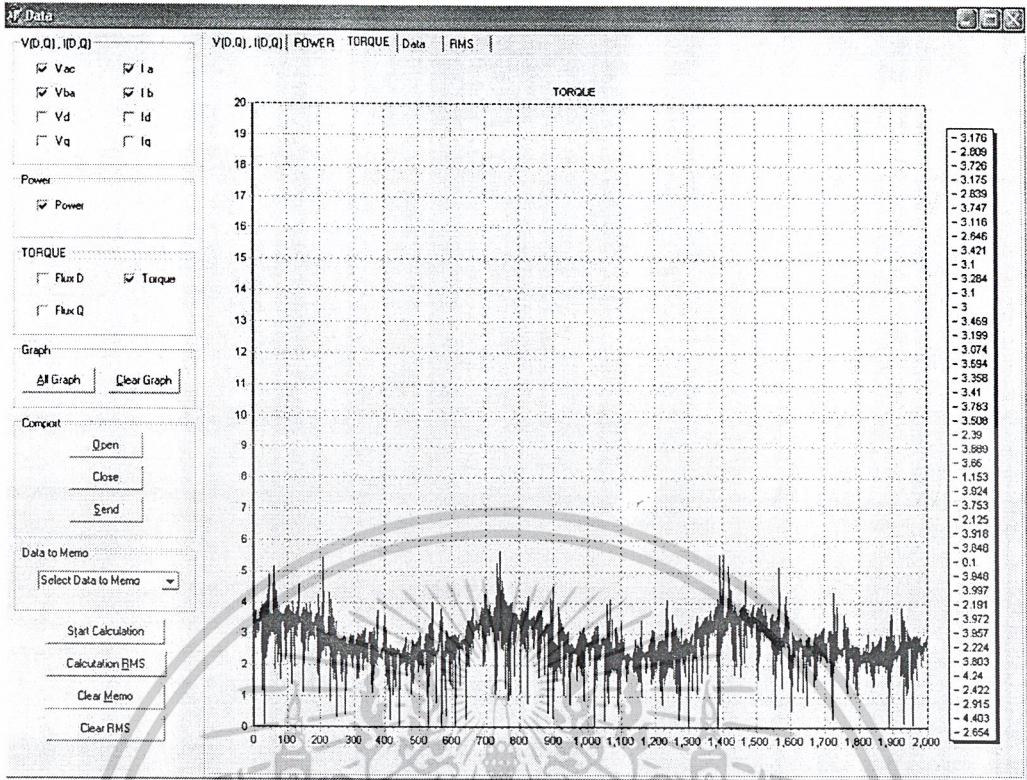


รูปที่ 5.26 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

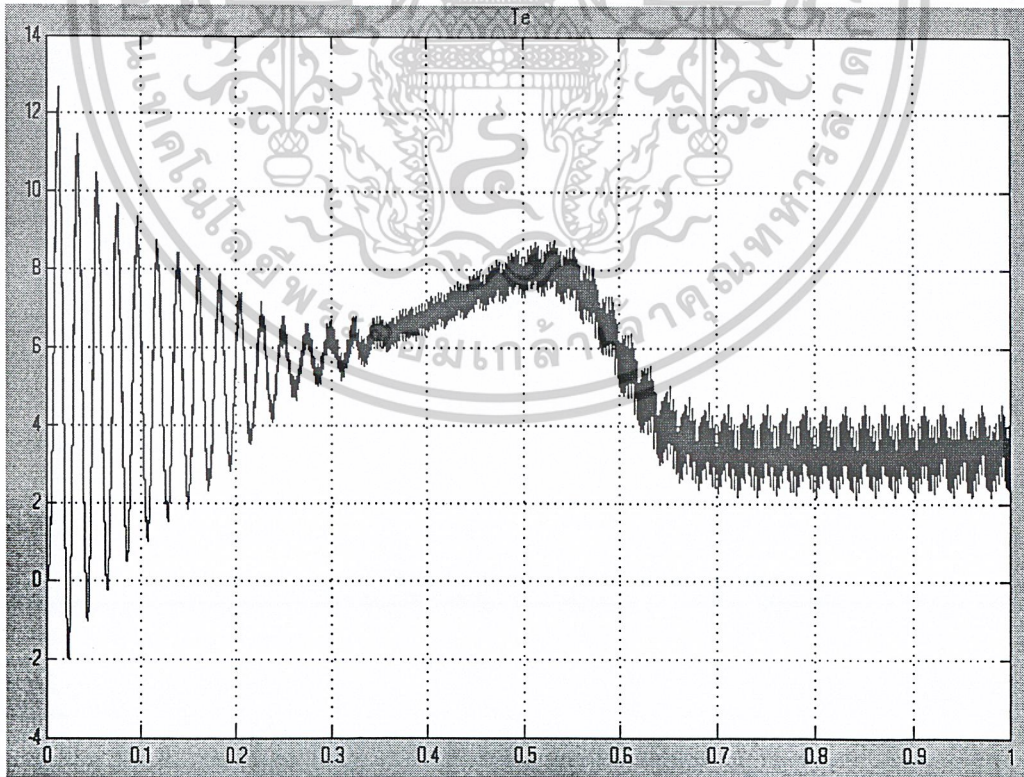


รูปที่ 5.27 สัญญาณฟลักซ์ ( $\psi_d, \psi_q$ ) ที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. 28 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5. 29 สัญญาณแรงบิดทางไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5. 4 การพิจารณากำลังที่ให้กับเครื่อง PZ4000 power meter

LOAD(%)	PZ 4000	DATA ACQUISITION	ERROR (%)
0	279.6	385.18	27.41
25	990.4	1012.05	2.13
50	1691.8	1675.21	0.98
75	2395.7	2374.11	0.9
90	2847.4	2815.53	1.13

ตารางที่ 5.1 ค่าเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นรูปคลื่น sine

LOAD (%)	PZ 4000	DATA ACQUISITION	ERROR (%)
0	181.8	395.29	54.18
25	589.2	732.3	19.54
50	1032.2	1185.85	12.95
75	1509.8	1734.79	12.96
90	1816.2	1962.34	7.44

ตารางที่ 5.2 ค่าเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 30 Hz

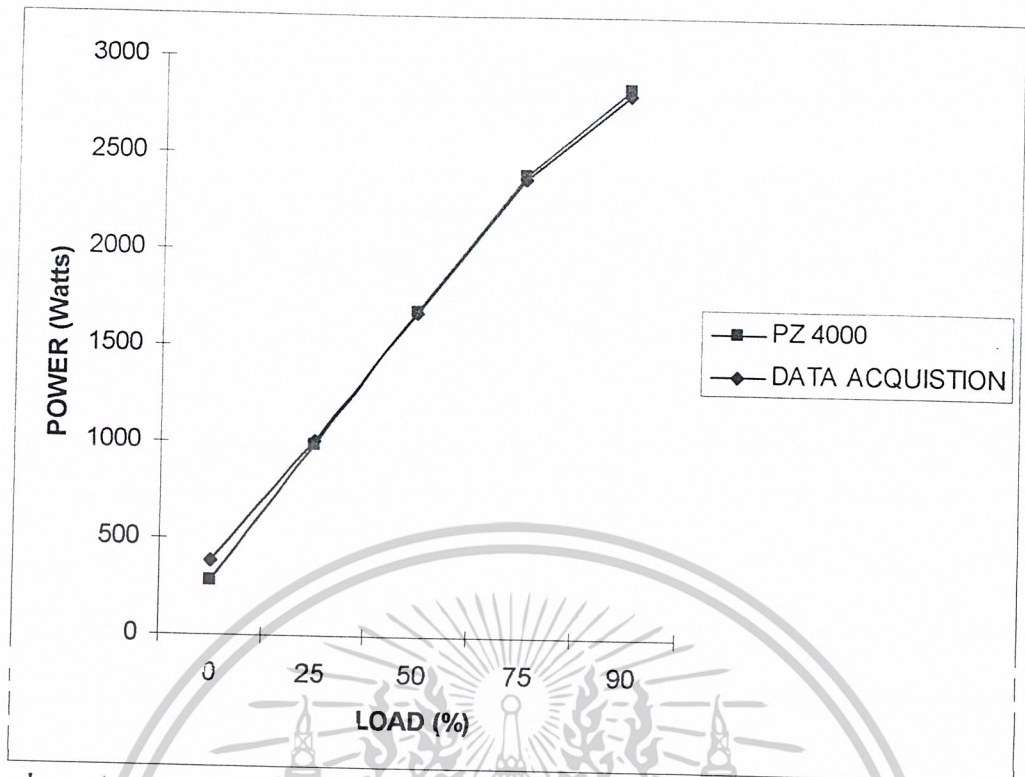
LOAD(%)	PZ 4000	DATA ACQUISITION	ERROR (%)
0	224.9	442.83	49.21
25	783.4	883.49	12.77
50	1355.5	1436.74	5.65
75	1960.3	2049.41	4.34
90	2342.9	2450.48	4.39

ตารางที่ 5.3 ค่าเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 40 Hz

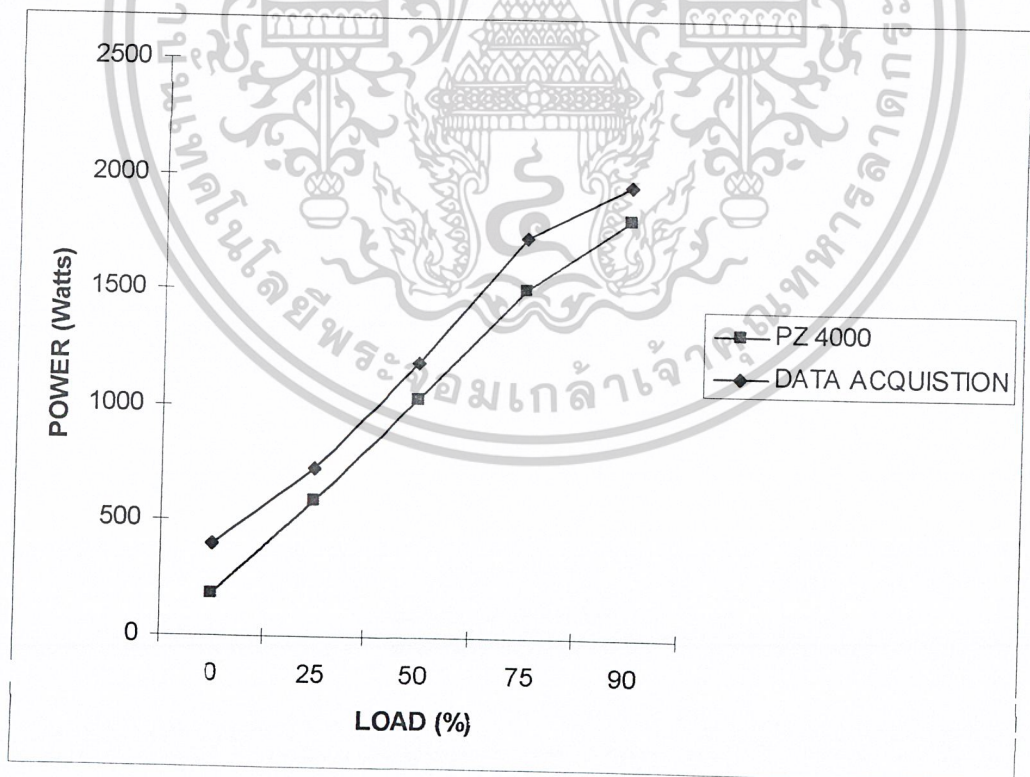
LOAD(%)	PZ 4000	DATA ACQUISITION	ERROR (%)
0	253.9	568.12	55.3
25	971.8	1066.66	8.89
50	1677.8	1731.61	3.1
75	2403.8	2437.72	1.39
90	2841.8	2902.01	2.07

ตารางที่ 5.4 ค่าเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

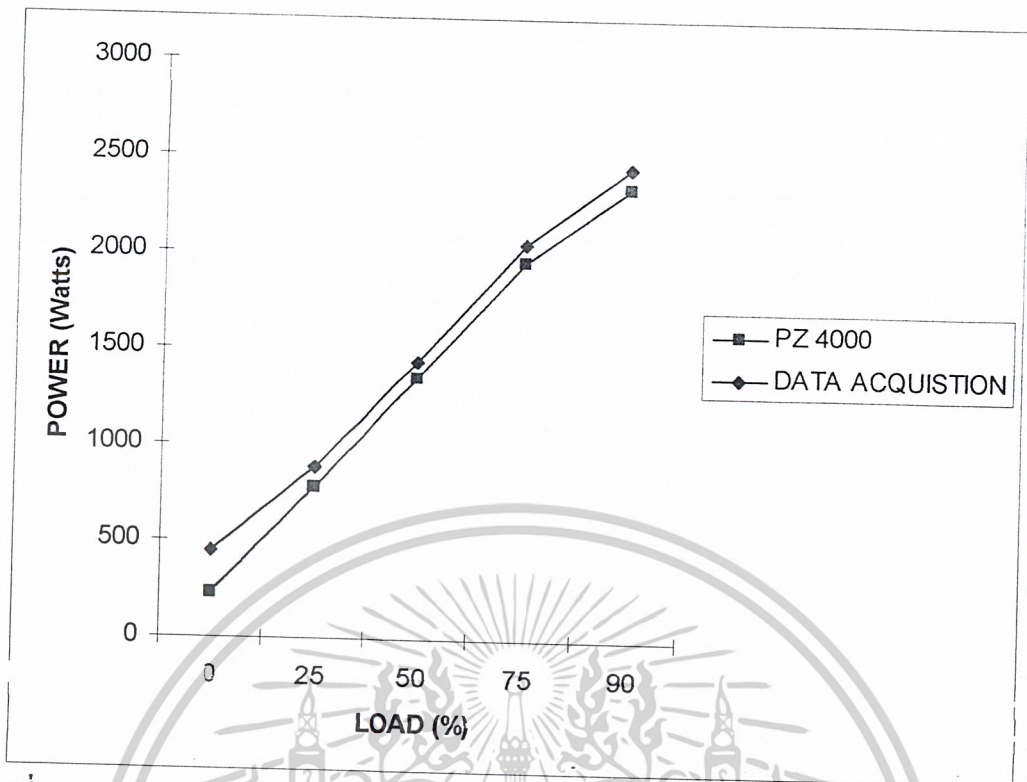


รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นรูปคลื่น sine

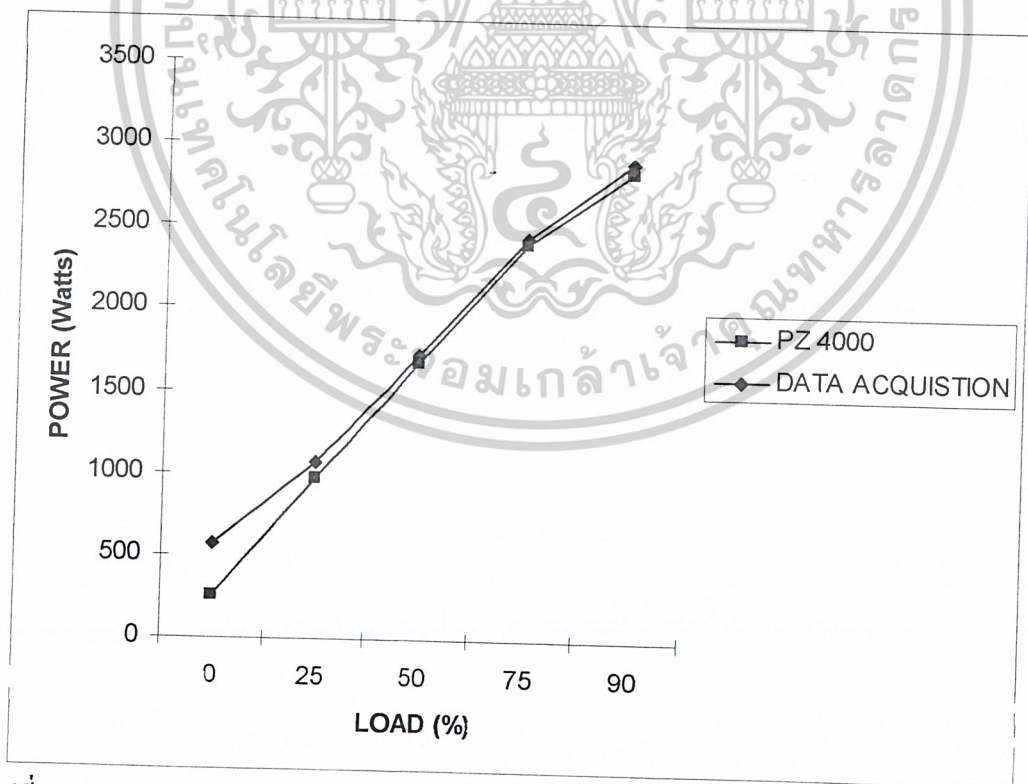


รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 30 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. 32 กราฟเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 40 Hz



รูปที่ 5. 33 กราฟเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากคอมพิวเตอรืกับเครื่อง PZ 4000 power meter โดยที่จ่ายสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทวิจารณ์และบทสรุป

โครงการ การบันทึกข้อมูลและการแสดงผลสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หมวดการทำงาน 2 ส่วนหลัก คือ

#### 1. ส่วนของฮาร์ดแวร์

- วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส
- วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน
- วงจรยกระดับแรงดัน
- วงจรแปลงสัญญาณ และ ประมวลผล

#### 2. ส่วนของซอฟต์แวร์

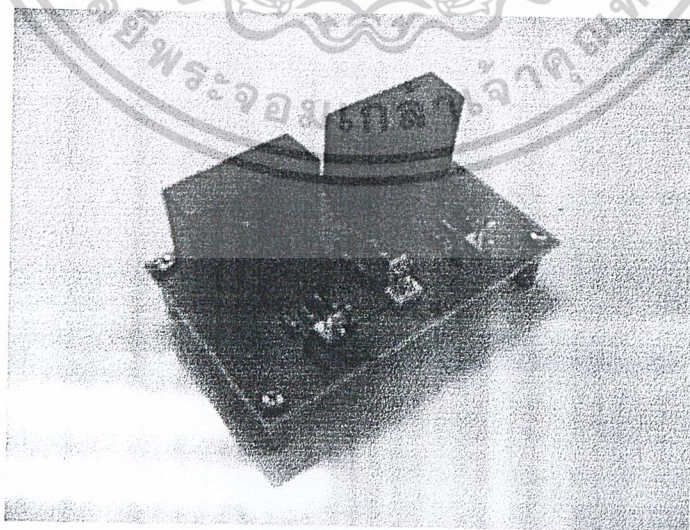
- โปรแกรมประมวลผลใน MCS - 51
- โปรแกรมประมวลผลในคอมพิวเตอร์ ( Delphi 5 )

#### 6.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์

แยกออกเป็น 4 ส่วน คือ

##### 6.1.1 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

ในวงจรนี้จะใช้ LEM เป็นตัวตรวจจับสัญญาณกระแสเพื่อนำไปประมวลผล ซึ่งการแปลงกระแสจะอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ ( Hall Effect ) โดยหลักการการทำงานจะคล้ายกับหม้อแปลงกระแส ( C.T. ) ทั่วไป สัญญาณที่ออกจาก LEM จะผ่านวงจรยกระดับสัญญาณ และวงจรปรับอัตราส่วน ซึ่งจะมีพิกัดแรงดันไว้ไม่เกิน 2.4 โวลต์ ก่อนที่จะเข้าในตัวประมวลผลใน MCS - 51

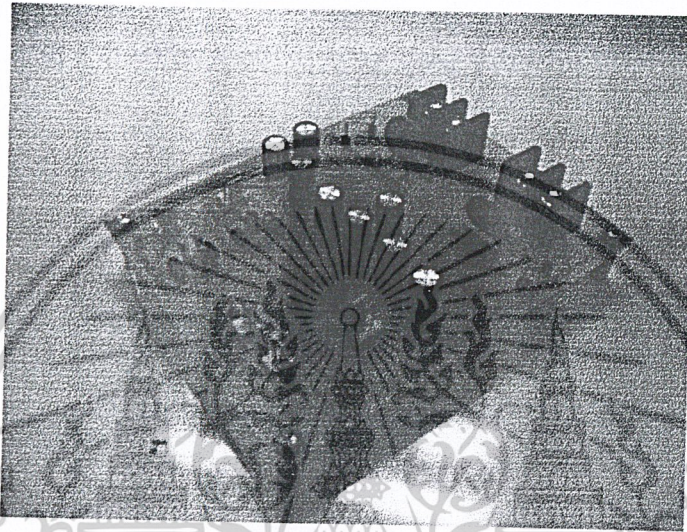


รูปที่ 6.1 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.2 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน

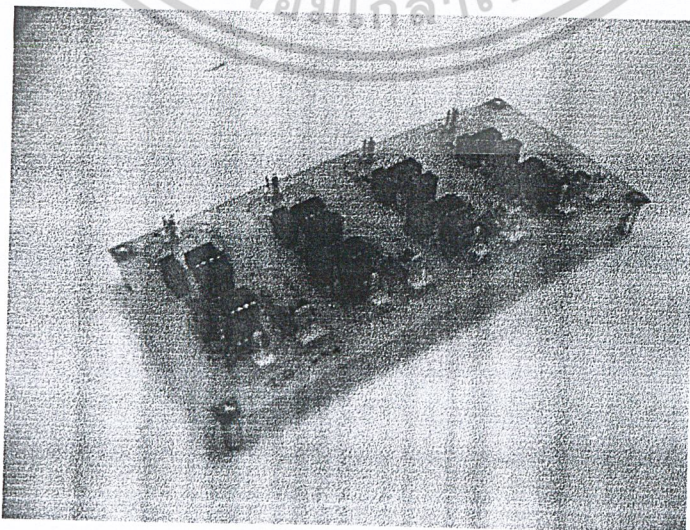
ในวงจรนี้จะใช้หลักการการแบ่งแรงดัน ( Voltage Divider ) โดยใช้ความต้านทานมาต่ออนุกรมกันเพื่อแบ่งแรงดันจาก 380 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันเฟสถึงเฟส ลดทอนแรงดันลงจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ลดทอนนั้นมาผ่าน IC isolate ( ISO 122 ) เพื่อแยกแรงดันด้านแรงดันสูงกับแรงดันต่ำออกจากกัน จากนั้นจึงเข้าวงจรระดับสัญญาณ และวงจรจะปรับอัตราส่วน ซึ่งจะมีพิกัดแรงดันไว้ไม่เกิน 2.4 โวลต์ ก่อนที่จะเข้าไปในตัวประมวลผลใน MCS - 51



รูปที่ 6.2 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน

### 6.1.3 วงจรยกระดับแรงดัน

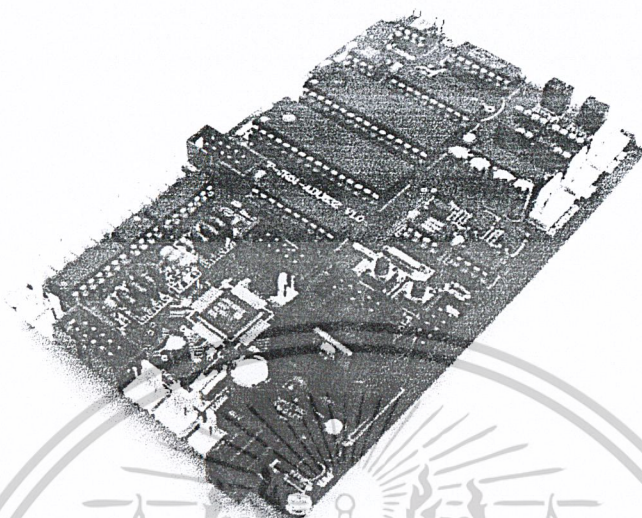
ในวงจรนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการยกระดับแรงดันขึ้นเพื่อไม่ให้ค่ามีค่าลบเกิดขึ้นเนื่องจากตัวแปลงสัญญาณ Analog to Digital (ADC) จะแปลงเฉพาะสัญญาณส่วนที่เป็นค่าบวก และ จะมีค่าแรงดันทางไฟฟ้าไม่เกิน 2.4 โวลต์ จากนั้นจึงนำสัญญาณไปส่งต่อเข้าสู่การแปลงสัญญาณ และ ประมวลผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูรูปที่ 6.3 วงจรยกระดับแรงดัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.4 วงจรแปลงสัญญาณ และ ประมวลผล

ใช้บอร์ดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น CP-JR51-ADU832 V1.0 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณและติดต่อส่งข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 6.4 วงจรแปลงสัญญาณ และ ประมวลผล

## 6.2 ส่วนของโปรแกรม

แยกออกเป็น 2 ส่วนคือ

### 6.2.1 ส่วนของโปรแกรมประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้ภาษาแอสเซมบลีเขียนโปรแกรมซึ่งในการเขียนโปรแกรมจะแบ่งออกได้เป็นโปรแกรมที่ใช้ควบคุมไอซีอนุโลคทุกดิจิตอล ซึ่งจะรับสัญญาณมาทั้งหมด 4 สัญญาณ คือ สัญญาณกระแส 2 สัญญาณ และสัญญาณแรงดัน 2 สัญญาณก่อนที่จะนำสัญญาณทั้ง 4 ไปประมวลผลต่อไป

ส่วนของการคำนวณหาค่าต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณแรงบิด กำลังไฟฟ้า ตามสมการที่กล่าวไว้ข้างต้น

ส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะส่งข้อมูลที่คำนวณได้ออกทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งขนาดความละเอียดของข้อมูลที่ส่งไปคือ 12 บิต

### 6.2.2 ส่วนของโปรแกรมแสดงผลในคอมพิวเตอร์

ในส่วนของการแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ใช้โปรแกรม Delphi ซึ่งจะทำให้การรับค่าที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นข้อมูลที่เป็นดิจิตอล แล้วนำมาคำนวณและแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมนั้นจะเป็นภาษาปาสคาล ซึ่งสัญญาณที่รับจากพอร์ตอนุกรมเข้ามาเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต เราต้องนำค่าที่ได้มาจากพอร์ตอนุกรมมาจัดเรียงเพื่อให้เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ 12 บิต จากนั้นจึงทำการแปลงค่าให้มีค่าเท่าจำนวนจริง แล้วจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณ และ นำค่าที่ได้มาทำการกราฟ

### ข้อจำกัดของโครงการ

ข้อจำกัดในการทำงานของ โครงการนี้คือการเก็บค่าเพื่อที่จะนำมาประมวลผลในลักษณะค่าที่ใกล้เคียงเวลาจริงหรือเรียลไทม์ เพราะการที่จะทำการส่งค่าแต่ละสัญญาณไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์นั้นจะทำให้ค่าที่ส่งมาจากช่องสัญญาณต่างๆไปจะผิดพลาดจากความเป็นจริงข้อมูลที่ได้จะผิดพลาดจากเดิม ยิ่งเวลานานขึ้นความผิดพลาดก็จะสูงมากขึ้นด้วย เราจึงทำการเก็บค่าสัญญาณที่ช่องสัญญาณที่เราต้องการไปเก็บในหน่วยความจำภายนอกของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ เอ็็กเทอร์นอลแรมก่อนแล้วจึงค่อยทำการส่งค่าที่เก็บไว้ไปยังคอมพิวเตอร์ที่ช่องสัญญาณ ซึ่งค่าที่ถูกส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์จะถูกนำมาแสดงผลเป็นกราฟของสัญญาณทั้งสี่ช่องสัญญาณ แต่ค่าที่แสดงนั้นจะเป็นค่าในช่วงเวลาหนึ่งๆเท่านั้น ไม่สามารถที่จะแสดงสัญญาณได้ตลอดเวลาเพราะหน่วยความจำไม่สามารถที่จะรองรับจำนวนของข้อมูลที่มีจำนวนมากได้ และประการสำคัญคือโครงการนี้สามารถที่จะรองรับกับการวิเคราะห์ผลได้สำหรับมอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดต่างๆ เพราะวงจรตรวจจับสัญญาณที่เราออกแบบนั้นใช้สำหรับการตรวจจับสัญญาณที่มีค่าไม่สูงมากนัก ซึ่งถ้าต้องการให้สามารถตรวจจับค่าสัญญาณของมอเตอร์ที่มีพิกัดสูงๆจะต้องออกแบบให้วงจรตรวจจับสัญญาณสามารถทนต่อพิกัดที่สูงมากขึ้นตามย่านที่คิดไว้ได้ และในส่วนของซอฟต์แวร์ก็ต้องทำการปรับปรุงให้สามารถใช้ประมวลผลค่าต่างๆได้มากขึ้น และยืดหยุ่นต่อการที่จะเปลี่ยนแปลงในโอกาสอื่นๆด้วย

### การพัฒนา

โครงการนี้ได้พัฒนาจากเดิมที่ใช้ ดีเอสพี เป็นตัวประมวลผลข้อมูลมาใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการประมวลผลค่าสัญญาณแล้วค่อยทำการส่งข้อมูลไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์ ปกติแล้วดีเอสพีนั้นจะเป็นชิปที่มีการประมวลผลที่รวดเร็วกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์มาก แต่การประมวลผลถึงจะรวดเร็ว ปัญหาที่สำคัญคือไม่สามารถที่จะส่งข้อมูลได้สัมพันธ์กับคอมพิวเตอร์จึงทำให้ต้องลดความเร็วในการทำงานของ ดีเอสพีลงมาเพื่อให้สัมพันธ์กับการทำงานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าอัตราในการสุ่มของดีเอสพีจึงลดลงมาเหลือ 375 ไมโครวินาที ซึ่งทำให้สัญญาณของโครงการที่ใช้ ดีเอสพีมีความผิดเพี้ยนสูงกว่าสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะความเร็วในการสุ่มค่าของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้นั้นมีค่าสูงถึง 5 ไมโครวินาที ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีอัตราการสุ่มค่าสัญญาณสูงกว่าดีเอสพีที่ใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพสูงถึงกว่า 70 เท่า

ส่วนทางด้านการพัฒนาโปรแกรมในคอมพิวเตอร์นั้น ก็ควรพัฒนาให้สามารถรองรับการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การใช้มอเตอร์ที่ขนาดต่างๆ ด้วยการเพิ่มการเลือกพิกัดในด้าน Hardware และมีค่าอัตราส่วนที่ใช้แก้ไขในโปรแกรม, การวัดค่าที่ห่างออกไปจากจุดวัดที่ไกลมากๆ ด้วยการเปลี่ยนตัวส่งค่าเป็น RS 485 จะทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ไกลถึง 1200 เมตร, เพิ่มความเร็วในการรับค่าและการคำนวณค่าต่างๆเพราะภายใต้หากเป็นภาษาขั้นสูงนั้นจะทำให้ Machine cycle นั้นมากจะส่งผลให้การคำนวณนั้นไม่วุ่นวายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล่าช้าลงได้ ซึ่งอาจจะต้องใช้โปรแกรมรับค่าใน DOS ซึ่งน่าจะทำให้การประมวลผลนั้นเร็วขึ้น หรือ ในอนาคตคอมพิวเตอร์อาจจะเร็วมากก็ไม่ใช่เป็นต้องเปลี่ยน , การรับส่งค่าแบบ Real time ก็สามารรถเปลี่ยน ด้วยการเขียนภาษาที่รองรับ และมีตัวประมวลผลที่เร็วในการคำนวณและรับส่งข้อมูล

### ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่พบ ใน โครงการนี้คือการเก็บข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำภายนอกของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความละเอียดของข้อมูล 12 บิต ดังนั้นในการเก็บข้อมูลต้องเก็บค่าข้อมูลเป็นแบบ 16 บิต ซึ่งการที่ข้อมูลมีถึง 16 บิต แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะจัดการข้อมูลได้เพียง 8 บิต เท่านั้น จึงทำให้การเขียนโปรแกรมจะเสียจำนวนของ แมชชีนไจเคิลเพิ่มขึ้นมา เพราะต้องเขียน โปรแกรมเก็บค่าส่งทีละ 8 บิต และอีกเหตุผลก็คือหน่วยความจำภายนอกนั้นสามารถที่จะเก็บข้อมูลได้ทีละ 8 บิต เช่นเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการเก็บค่าเพียงหนึ่งค่าที่มีความละเอียด 12 บิต จะต้องใช้ตำแหน่งของหน่วยความจำไปถึง 2 ตำแหน่ง คือ ข้อมูลไบต์สูง 8 บิต 1 ตำแหน่ง และข้อมูลไบต์ต่ำ 8 บิตอีก 1 ตำแหน่งนั่นเอง และโครงการนี้ใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรมเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งการส่งข้อมูลจะส่งข้อมูลทีละบิต ดังนั้นจะใช้เวลาในการส่งข้อมูลนานกว่าแบบขนานที่ส่งข้อมูลทีละ 8 บิต

แนวทางแก้ไขของโครงการนี้คือถ้าต้องการให้ค่าที่แสดงเป็นแบบเรียลไทม์จะต้องใช้ตัวประมวลผลที่มีความละเอียดแบบ 16 บิต และไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก อีกทั้งต้องใช้ในการส่งข้อมูลเป็นแบบขนานอีกด้วย การทำงานก็จะเป็นในรูปแบบของเมื่อสุ่มค่าได้แล้วก็ทำการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ในทันที แล้วส่งข้อมูลของสัญญาณในช่องต่อไปได้ตามลำดับจนครบ 4 ช่องสัญญาณแล้วทำการวนโปรแกรมกลับมาส่งค่าสัญญาณไปเรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นว่าจะมีความใกล้เคียงกับเรียลไทม์มากกว่าเดิม และในส่วนของโปรแกรมประมวลผลในคอมพิวเตอร์ก็ใช้โปรแกรม Delphi เช่นเดิมเพราะเป็นโปรแกรมที่มีการติดต่อที่ง่ายต่อการใช้งานเพราะเป็นภาษาระดับสูง เข้าใจง่าย ซึ่งเหมาะสมกับการจัดการค่าต่างที่มีได้ง่ายและสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

MAIN:      JNB RX_COMPLETE,MAIN
           CLR RX_COMPLETE
           CLR ES
           CALL PROCESS
           SETB ES
           JMP MAIN

;*****
;***** RESET SERIAL IF NOT HAVE CHAR DATA **
;*****
RESET_SER: MOV SER_COUNT,#000H      ; RESET COUNT
           CLR RX_COMPLETE
           CLR TR0
           CLR ET0
           RET

;*****
;***** CHK INTERRUPT SERIAL WITH A 2000 **
;*****
SER_INT:   PUSH ACC
           PUSH B
           PUSH PSW
           PUSH 000H
           PUSH 001H
           JB RI,RX_SER
           MOV SER_COUNT,#000H      ; RESET COUNT
           JMP END_SER

RX_SER:    MOV TH0,#00FH              ; WAIT 4 mS. FOR LATER CHAR
           MOV TL0,#0F9H              ; 65536-4000 MC (1MC=1*12/11.0592 uS.)
           SETB ET0                    ; T0 INTERRUPT ENABLE
           SETB TR0                    ; T0 COUNT

WAIT:      JNB RI,WAIT
           CLR RI
           MOV A,SBUF
           MOV R1,A

           MOV A,#SER_BUFF
           MOV R0,SER_COUNT
           ADD A,R0
           XCH A,R0
           MOV A,R1
           MOV @R0,A

           INC SER_COUNT
           MOV A,SER_COUNT
           CJNE A,#003H,END_SER
           MOV SER_COUNT,#000H      ; RESET COUNT
           MOV R0,#SER_BUFF          ; ADDRESS
           MOV A,@R0
           CJNE A,#018H,END_SER
           MOV R0,#SER_BUFF+2        ; ADDRESS
           MOV A,@R0
           CJNE A,#019H,END_SER
           SETB RX_COMPLETE
           MOV SER_COUNT,#000H
           JMP END_SER

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

END_SER:
    POP 001H
    POP 000H
    POP PSW
    POP B
    POP ACC
    RET
;*****
PROCESS:      MOV  R0,#SER_BUFF+1
              MOV  A,@R0
              CJNE A,#001H,CHK_CH2
              JMP SEND_CH1
CHK_CH2:
              CJNE A,#002H,CHK_CH3
              JMP SEND_CH2
CHK_CH3:
              CJNE A,#003H,CHK_CH4
              JMP SEND_CH3
CHK_CH4:
              CJNE A,#004H,END_CHK
              JMP SEND_CH4
END_CHK:
              JMP END_SEND
SEND_CH1:
              MOV  A,#001D
              MOV  SBUF,A
              JNB  TI,$
              CLR  TI
              MOV  DPTR,#0FA1H ;DEFINE FIRST DPTR
LOOP_9:
              MOV  RI,#100D
SEND_1:
              MOV  R0,#020D
              MOVX A,@DPTR
              MOV  SBUF,A
              JNB  TI,$
              CLR  TI
              INC  DPTR
              MOVX A,@DPTR
              MOV  SBUF,A
              JNB  TI,$
              CLR  TI
              INC  DPTR
              DJNZ R0,SEND_1
              DJNZ R1,LOOP_9
              JMP END_SEND

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SEND_CH2:
MOV A,#002D
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
MOV DPTR,#1F41H ;DEFINE FIRST DPTR

MOV R1,#100D
LOOP_10:
MOV R0,#020D

SEND_2:
MOVX A,@DPTR
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
INC DPTR
MOVX A,@DPTR
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
INC DPTR
DJNZ R0,SEND_2
DJNZ R1,LOOP_10
JMP END_SEND

SEND_CH3:
MOV A,#003D
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
MOV DPTR,#2EE1H ;DEFINE FIRST DPTR

MOV R1,#100D
LOOP_11:
MOV R0,#020D

SEND_3:
MOVX A,@DPTR
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
INC DPTR
MOVX A,@DPTR
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
INC DPTR
DJNZ R0,SEND_3
DJNZ R1,LOOP_11
JMP END_CHK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SEND_CH4:  MOV      A,#004D
           MOV      SBUF,A
           JNB      TI,$
           CLR      TI
           MOV      DPTR,#0000H           ;DEFINE FIRST DPTR

           MOV      R1,#100D
LOOP_12:   MOV      R0,#020D
SEND_4:    MOVX     A,@DPTR
           MOV      SBUF,A
           JNB      TI,$
           CLR      TI
           INC      DPTR
           MOVX     A,@DPTR
           MOV      SBUF,A
           JNB      TI,$
           CLR      TI
           INC      DPTR
           DJNZ     R0,SEND_4
           DJNZ     R1,LOOP_12

END_SEND:  MOV      A,#013D
           MOV      SBUF,A
           JNB      TI,$
           CLR      TI
           CALL     DELAY_BYTE
           MOV      A,#010D
           MOV      SBUF,A
           JNB      TI,$
           CLR      TI
           RET

READ_ADC:  PUSH     000H
           PUSH     001H
           PUSH     ACC
           MOV      BUFF_ADDR1H,#000H
           MOV      BUFF_ADDR1L,#000H
           MOV      BUFF_ADDR2H,#00FH
           MOV      BUFF_ADDR2L,#0A1H
           MOV      BUFF_ADDR3H,#01FH
           MOV      BUFF_ADDR3L,#041H
           MOV      BUFF_ADDR4H,#02EH
           MOV      BUFF_ADDR4L,#0E1H
           MOV      CFG832,#000H
           MOV      ADCCON1,#080H           ; Active operating mode of the ADC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R0,#100D
LOOP_READ1:
MOV R1,#020D
LOOP_READ2:
MOV ADCCON2,#CHAN0 ;START KEEP CHAN0
MOV DPH,BUFF_ADDR1H
MOV DPL,BUFF_ADDR1L
MOV A,ADCDATAH ; Move data in adcdatalH SFR to A
MOVX @DPTR,A ; KEEP DATA TO EXTERNAL RAM
INC DPTR
MOV A,ADCDATAL
MOVX @DPTR,A
INC DPTR
MOV BUFF_ADDR1H,DPH
MOV BUFF_ADDR1L,DPL

MOV ADCCON2,#CHAN1 ;START KEEP CHAN1
MOV DPH,BUFF_ADDR2H
MOV DPL,BUFF_ADDR2L
MOV A,ADCDATAH ; Move data in adcdatalH SFR to A
MOVX @DPTR,A ; KEEP DATA TO EXTERNAL RAM
INC DPTR
MOV A,ADCDATAL
MOVX @DPTR,A
INC DPTR
MOV BUFF_ADDR2H,DPH
MOV BUFF_ADDR2L,DPL

MOV ADCCON2,#CHAN2 ;START KEEP CHAN2
MOV DPH,BUFF_ADDR3H
MOV DPL,BUFF_ADDR3L
MOV A,ADCDATAH ; Move data in adcdatalH SFR to A
MOVX @DPTR,A ; KEEP DATA TO EXTERNAL RAM
INC DPTR
MOV A,ADCDATAL
MOVX @DPTR,A
INC DPTR
MOV BUFF_ADDR3H,DPH
MOV BUFF_ADDR3L,DPL

MOV ADCCON2,#CHAN3 ;START KEEP CHAN3
MOV DPH,BUFF_ADDR4H
MOV DPL,BUFF_ADDR4L
MOV A,ADCDATAH ; Move data in adcdatalH SFR to A
MOVX @DPTR,A ; KEEP DATA TO EXTERNAL RAM
INC DPTR
MOV A,ADCDATAL
MOVX @DPTR,A
INC DPTR
MOV BUFF_ADDR4H,DPH
MOV BUFF_ADDR4L,DPL

DJNZ R1,LOOP_READ2
DJNZ R0,LOOP_READ1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
END_READ:  POP  ACC
            POP  001H
            POP  000H
            RET
```

```
*****
;*****
;*****DELAY 1 BYTE= 200 US*****
;*****
```

```
DEALY_BYTE: PUSH 001H
            MOV  R1,#05CH
DELAY1:     NOP
            NOP
            DJNZ R1,DELAY1
            POP  001H
            RET
```

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, jpeg, ExtCtrls;
type
  TfrmMain = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn4: TBitBtn;
    Image1: TImage;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
    procedure FormCloseQuery(Sender: TObject; var CanClose: Boolean);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  frmMain: TfrmMain;
implementation
uses Unit2, Unit3, Unit4;
{$R *.DFM}
procedure TfrmMain.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  frmData.show;
end;
procedure TfrmMain.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
  frmAbout.show;
end;
procedure TfrmMain.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  frmHelp.show;
end;
procedure TfrmMain.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
  self.close;
end;
procedure TfrmMain.FormCloseQuery(Sender: TObject; var CanClose: Boolean);
begin
  if MessageDlg ('Are you sure you want to exit ?',
    mtConfirmation,[mbYes,mbNo],0) = mrYes then
    canclose := True else canclose := False ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;  
end.
```

## Unit2;

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, ComCtrls, ComPort, StdCtrls;
```

```
const Vac_offset = 1507;  
      Vac_ratio = 0.38267269;  
      Vba_offset = 1471;  
      Vba_ratio = 0.36483367;  
      Ia_offset = 1685;  
      Ia_ratio = 0.00665301;  
      Ib_offset = 1481;  
      Ib_ratio = 0.00595534;  
      Reactance = 3.8;  
      Machine_Cycle = 0.0000578;
```

```
type
```

```
TfrmData = class(TForm)  
  Panel1: TPanel;  
  Panel2: TPanel;  
  PageControl1: TPageControl;  
  TabSheet1: TTabSheet;  
  Chart1: TChart;  
  TabSheet2: TTabSheet;  
  Chart2: TChart;  
  TabSheet3: TTabSheet;  
  Chart3: TChart;  
  TabSheet4: TTabSheet;  
  Memo1: TMemo;  
  GroupBox1: TGroupBox;  
  CheckBox1: TCheckBox;  
  CheckBox2: TCheckBox;  
  CheckBox3: TCheckBox;  
  CheckBox4: TCheckBox;  
  Series2: TLineSeries;  
  Series3: TLineSeries;  
  Series4: TLineSeries;  
  Series5: TLineSeries;  
  Series6: TLineSeries;  
  Series7: TLineSeries;  
  Series8: TLineSeries;  
  GroupBox2: TGroupBox;  
  CheckBox5: TCheckBox;  
  CheckBox6: TCheckBox;  
  CheckBox7: TCheckBox;  
  GroupBox3: TGroupBox;  
  Button3: TButton;  
  Button4: TButton;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GroupBox4: TGroupBox;  
CheckBox8: TCheckBox;  
GroupBox5: TGroupBox;  
Button2: TButton;  
Button5: TButton;  
Button1: TButton;  
GroupBox6: TGroupBox;  
cmbSelect: TComboBox;  
ComPort1: TComPort;  
Button6: TButton;  
Button7: TButton;  
CheckBox9: TCheckBox;  
CheckBox10: TCheckBox;  
CheckBox11: TCheckBox;  
CheckBox12: TCheckBox;  
Series9: TLineSeries;  
Series10: TLineSeries;  
Series11: TLineSeries;  
Series12: TLineSeries;  
Series13: TLineSeries;  
TabSheet5: TTabSheet;  
GroupBox7: TGroupBox;  
GroupBox8: TGroupBox;  
GroupBox9: TGroupBox;  
GroupBox10: TGroupBox;  
Edit1: TEdit;  
Edit2: TEdit;  
Edit3: TEdit;  
Edit4: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
Edit12: TEdit;  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;  
Label28: TLabel;  
Button8: TButton;  
Button9: TButton;  
Image1: TImage;

```
procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox2Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox3Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox4Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox5Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox6Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox7Click(Sender: TObject);  
procedure Button3Click(Sender: TObject);  
procedure Button4Click(Sender: TObject);  
procedure Button2Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox8Click(Sender: TObject);  
procedure Button5Click(Sender: TObject);  
procedure ComPort1ReceiveCallBack(Data:String);  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure cmbSelectChange(Sender: TObject);  
procedure Button6Click(Sender: TObject);  
procedure Button7Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox9Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox10Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox11Click(Sender: TObject);  
procedure CheckBox12Click(Sender: TObject);  
procedure Button9Click(Sender: TObject);  
procedure Button8Click(Sender: TObject);  
private  
procedure Vac_StoreData (DataVac : String);  
procedure Vba_StoreData (DataVba : String);  
procedure Ia_StoreData (DataIa : String);  
procedure Ib_StoreData (DataIb : String);  
procedure GetSerialData(Func:Byte);  
{ Private declarations }
```

**public**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    { Public declarations }
end;
var
    frmData: TfrmData;
    Vac_Data : array[0..2010] of Real;
    Vac      : array[0..2010] of Real;
    Vba_Data : array[0..2010] of Real;
    Vba      : array[0..2010] of Real;
    Ia_Data  : array[0..2010] of Real;
    Ia       : array[0..2010] of Real;
    Ib_Data  : array[0..2010] of Real;
    Ib       : array[0..2010] of Real;
    VD       : array[0..2010] of Real;
    VQ       : array[0..2010] of Real;
    ID       : array[0..2010] of Real;
    IQ       : array[0..2010] of Real;
    POWER    : array[0..2010] of Real;
    Temp_D   : array[0..2010] of Real;
    Temp_Q   : array[0..2010] of Real;
    FluxD    : array[0..2010] of Real;
    FluxQ    : array[0..2010] of Real;
    Torque   : array[0..2010] of Real;
implementation
{$R *.DFM}
procedure TfrmData.CheckBox1Click(Sender: TObject);
begin
    if CheckBox1.Checked then
        Series13.Active := True else
        Series13.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox2Click(Sender: TObject);
begin
    if CheckBox2.Checked then
        Series2.Active := True else
        Series2.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox3Click(Sender: TObject);
begin
    if CheckBox3.Checked then
        Series3.Active := True else
        Series3.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox4Click(Sender: TObject);
begin
    if CheckBox4.Checked then
        Series4.Active := True else
        Series4.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox5Click(Sender: TObject);
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if CheckBox5.Checked then
    Series6.Active := True else
    Series6.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox6Click(Sender: TObject);
begin
    if CheckBox6.Checked then
    Series7.Active := True else
    Series7.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox7Click(Sender: TObject);
begin
    if CheckBox7.Checked then
    Series8.Active := True else
    Series8.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    comport1.open;
end;
procedure TfrmData.Button4Click(Sender: TObject);
begin
    comport1.close;
end;
procedure TfrmData.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    Memo1.Clear;
    Series13.Active := False ;
    Series2.Active := False ;
    Series3.Active := False ;
    Series4.Active := False ;
    Series5.Active := False ;
    Series6.Active := False ;
    Series7.Active := False ;
    Series8.Active := False ;
    Series9.Active := False ;
    Series10.Active := False ;
    Series11.Active := False ;
    Series12.Active := False ;
    CheckBox1.Checked := False ;
    CheckBox2.Checked := False ;
    CheckBox3.Checked := False ;
    CheckBox4.Checked := False ;
    CheckBox5.Checked := False ;
    CheckBox6.Checked := False ;
    CheckBox7.Checked := False ;
    CheckBox8.Checked := False ;
    CheckBox9.Checked := False ;
    CheckBox10.Checked := False ;
    CheckBox11.Checked := False ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CheckBox12.Checked := False ;
    end;
    procedure TfrmData.CheckBox8Click(Sender: TObject);
    begin
        if CheckBox8.Checked then
            Series5.Active := True else
            Series5.Active := False ;
    end;
    procedure TfrmData.Button5Click(Sender: TObject);
    begin
        Series13.Active := True ;
        Series2.Active := True ;
        Series3.Active := True ;
        Series4.Active := True ;
        Series5.Active := True ;
        Series6.Active := True ;
        Series7.Active := True ;
        Series8.Active := True ;
        Series9.Active := True ;
        Series10.Active := True ;
        Series11.Active := True ;
        Series12.Active := True ;
        CheckBox1.Checked := True ;
        CheckBox2.Checked := True ;
        CheckBox3.Checked := True ;
        CheckBox4.Checked := True ;
        CheckBox5.Checked := True ;
        CheckBox6.Checked := True ;
        CheckBox7.Checked := True ;
        CheckBox8.Checked := True ;
        CheckBox9.Checked := True ;
        CheckBox10.Checked := True ;
        CheckBox11.Checked := True ;
        CheckBox12.Checked := True ;
    end;
    procedure TfrmData.ComPort1ReceiveCallBack(Data: String);
    var
        x:String;
        z:Char;
        Func1:Byte;
    begin
        X:=copy(Data,1,1);
        Delete(Data,Length(Data)-1,2);
        z:=x[1];
        Func1:=Byte(z);
        case Func1 of
            1:Vac_StoreData(Data);
            2:Vba_StoreData(Data);
            3:Ia_StoreData(Data);
            4:Ib_StoreData(Data);
        end;
    end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
end;
procedure TfrmData.Vac_StoreData(DataVac: String);
var
i,j:Integer;
z:Byte;
x,y:Word;
RDDData:String;
Data16:Word;
begin
i:=Length(DataVac);
j:=0;
RDDData:="";
Data16:=0;
for i:=1 to Length(DataVac) do
begin
RDDData:=RDDData+IntToStr(Byte(DataVac[i]))+',';
if((i mod 2)=1)and (i<>1) then
begin
z:=Byte(DataVac[i-1]);
x:=z shl 8;
y:=$0F00;
y:=x and y;
Data16:=y + Byte(DataVac[i]);
Vac_Data[j]:=Data16;
Vac[j] := (Vac_Data[j]-Vac_offset)*Vac_ratio ;
Series13.AddY(Vac[j]);
Inc(j);
end;
end;
Memo1.Lines.Add(RDDData);
GetSerialData(2);
end;
procedure TfrmData.Vba_StoreData(DataVba: String);
var
i,j:Integer;
z:Byte;
x,y:Word;
RDDData:String;
Data16:Word;
begin
i:=Length(DataVba);
j:=0;
RDDData:="";
Data16:=0;
for i:=1 to Length(DataVba) do
begin
RDDData:=RDDData+IntToStr(Byte(DataVba[i]))+',';
if((i mod 2)=1)and (i<>1) then
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

z:=Byte(DataVba[i-1]);
x:=z shl 8;
y:=$0F00;
y:=x and y;
Data16:=y + Byte(DataVba[i]);
Vba_Data[j]:=Data16;
Vba[j] := (Vba_Data[j]-Vba_offset)*Vba_ratio ;
Series2.AddY(Vba[j]);
Inc(j);
end;
end;
Memo1.Lines.Add(RDDData);
GetSerialData(3);
end;
procedure TfrmData.Ia_StoreData(DataIa: String);
var
i,j:Integer;
z:Byte;
x,y: Word;
RDDData:String;
Data16:Word;
begin
i:=Length(DataIa);
j:=0;
RDDData:="";
Data16:=0;
for i:=1 to Length(DataIa) do
begin
RDDData:=RDDData+IntToStr(Byte(DataIa[i]))+',';
if((i mod 2)=1)and (i<>1) then
begin
z:=Byte(DataIa[i-1]);
x:=z shl 8;
y:=$0F00;
y:=x and y;
Data16:=y + Byte(DataIa[i]);
Ia_Data[j]:=Data16;
Ia[j] := (Ia_Data[j]-Ia_offset)*Ia_ratio ;
Series3.AddY(Ia[j]);
Inc(j);
end;
end;
Memo1.Lines.Add(RDDData);
GetSerialData(4);
end;
procedure TfrmData.Ib_StoreData(DataIb: String);
var
i,j:Integer;
z:Byte;
x,y:Word;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RDDData:String;
Data16:Word;
begin
i:=Length(DataIb);
j:=0;
RDDData:="";
Data16:=0;
for i:=1 to Length(DataIb) do
begin
RDDData:=RDDData+IntToStr(Byte(DataIb[i]))+',';
if((i mod 2)=1)and (i<>1) then
begin
z:=Byte(DataIb[i-1]);
x:=z shl 8;
y:=$0F00;
y:=x and y;
Data16:=y + Byte(DataIb[i]);
Ib_Data[j]:=Data16;
Ib[j] := (Ib_Data[j]-Ib_offset)*Ib_ratio ;
Series4.AddY(Ib[j]);
Inc(j);
end;
end;
Memo1.Lines.Add(RDDData)
end;
procedure TfrmData.Button1Click(Sender: TObject);
var
i,j,k:Integer ;
x,y :Real;
begin
for i:= 0 to 2000 do
begin
VD[i]:= (Vba[i] - Vac[i]) / 3;
VQ[i]:= (Vac[i] + Vba[i]) / (-1.732);
ID[i]:= Ia[i] ;
IQ[i]:= ( Ia[i] + (2*Ib[i])) / 1.732;
POWER[i]:=1.5*((VD[i]*ID[i]) + (VQ[i]*IQ[i]));
for j:= 0 to 2000 do
begin
Temp_D[j]:=(VD[j]-(ID[j]*Reactance));
Temp_Q[j]:=(VQ[j]-(IQ[j]*Reactance));
end;
x:=0;
y:=0;
for k:= 0 to 2000 do
begin
x:=x+(0.5*((Temp_D[k]+Temp_D[k+1])*Machine_Cycle));
y:=y+(0.5*((Temp_Q[k]+Temp_Q[k+1])*Machine_Cycle));
FluxD[i]:= x;
FluxQ[i]:= y;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    end;
    Torque[i]:=((FluxD[i]*IQ[i])-(FluxQ[i]*ID[i]));
end;
for i:= 0 to 2000 do
begin
    Series9.AddY(VD[i]);
    Series10.AddY(VQ[i]);
    Series11.AddY(ID[i]);
    Series12.AddY(IQ[i]);
    Series5.AddY(POWER[i]);
    Series6.AddY(FluxD[i]);
    Series7.AddY(FluxQ[i]);
    Series8.AddY(Torque[i]);
end;
end;
procedure TfrmData.cmbSelectChange(Sender: TObject);
var
    i : integer ;
begin
    for i:= 0 to 2000 do
    case cmbSelect.ItemIndex of
    0: memo1.Lines.Add ('Vd ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(VD[i]));
    1: memo1.Lines.Add ('Vq ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(VQ[i]));
    2: memo1.Lines.Add ('Id ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(ID[i]));
    3: memo1.Lines.Add ('Iq ['+ IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(IQ[i]));
    4: memo1.Lines.Add ('POWER ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(POWER[i]));
    5: memo1.Lines.Add ('FluxD ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(FluxD[i]));
    6: memo1.Lines.Add ('FluxQ ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(FluxQ[i]));
    7: memo1.Lines.Add ('Torque ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(Torque[i]));
    8: memo1.Lines.Add ('Vac ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(Vac[i]));
    9: memo1.Lines.Add ('Vba ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(Vba[i]));
    10: memo1.Lines.Add ('Ia ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(Ia[i]));
    11: memo1.Lines.Add ('Ib ['+IntToStr(i)+']=' +FloatToStr(Ib[i]));
    end;
end;
procedure TfrmData.Button6Click(Sender: TObject);
begin
    Memo1.Clear;
    Series13.Clear;
    Series2.Clear;
    Series3.Clear;
    Series4.Clear;
    Series5.Clear;
    Series6.Clear;
    Series7.Clear;
    Series8.Clear;
    Series9.Clear;
    Series10.Clear;
    Series11.Clear;
    Series12.Clear;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GetSerialData(1);
end;
procedure TfrmData.GetSerialData(Func: Byte);
begin
  Comport1.Send(Char($18));
  Sleep(1);
  Comport1.Send(Char(Func));
  sleep(1);
  Comport1.Send(Char($19));
end;
procedure TfrmData.Button7Click(Sender: TObject);
begin
  Memo1.Clear ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox9Click(Sender: TObject);
begin
  if CheckBox9.Checked then
    Series9.Active := True else
    Series9.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox10Click(Sender: TObject);
begin
  if CheckBox10.Checked then
    Series10.Active := True else
    Series10.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox11Click(Sender: TObject);
begin
  if CheckBox11.Checked then
    Series11.Active := True else
    Series11.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.CheckBox12Click(Sender: TObject);
begin
  if CheckBox12.Checked then
    Series12.Active := True else
    Series12.Active := False ;
end;
procedure TfrmData.Button9Click(Sender: TObject);
begin
  Edit1.Text := ' ';
  Edit2.Text := ' ';
  Edit3.Text := ' ';
  Edit4.Text := ' ';
  Edit5.Text := ' ';
  Edit6.Text := ' ';
  Edit7.Text := ' ';
  Edit8.Text := ' ';
  Edit9.Text := ' ';
  Edit10.Text := ' ';

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Edit11.Text := ' ';
Edit12.Text := ' ';
end;
procedure TfrmData.Button8Click(Sender: TObject);
var
    i:Integer;
    a,b,c,d,e,f,g,h,w,x,y,z:Real;
begin
    a := 0;
    b := 0;
    c := 0;
    d := 0;
    e := 0;
    f := 0;
    g := 0;
    h := 0;
    w := 0;
    x := 0;
    y := 0;
    z := 0;
    for i:= 0 to 2000 do
    begin
        a:=a+(Vac[i]*Vac[i]);
        b:=b+(Vba[i]*Vba[i]);
        c:=c+(Ia[i]*Ia[i]);
        d:=d+(Ib[i]*Ib[i]);
        e:=e+(VD[i]*VD[i]);
        f:=f+(VQ[i]*VQ[i]);
        g:=g+(ID[i]*ID[i]);
        h:=h+(IQ[i]*IQ[i]);
        w:=w+(POWER[i]*POWER[i]);
        x:=x+(FluxD[i]*FluxD[i]);
        y:=y+(FluxQ[i]*FluxQ[i]);
        z:=z+(Torque[i]*Torque[i]);
    end;
    begin
        a:=sqrt(a/2000);
        b:=sqrt(b/2000);
        c:=sqrt(c/2000);
        d:=sqrt(d/2000);
        e:=sqrt(e/2000);
        f:=sqrt(f/2000);
        g:=sqrt(g/2000);
        h:=sqrt(h/2000);
        w:=sqrt(w/2000);
        x:=sqrt(x/2000);
        y:=sqrt(y/2000);
        z:=sqrt(z/2000);
    end;
    begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Edit1.Text := FloatToStr(a);
Edit2.Text := FloatToStr(b);
Edit3.Text := FloatToStr(c);
Edit4.Text := FloatToStr(d);
Edit5.Text := FloatToStr(e);
Edit6.Text := FloatToStr(f);
Edit7.Text := FloatToStr(g);
Edit8.Text := FloatToStr(h);
Edit9.Text := FloatToStr(Z);
Edit10.Text:= FloatToStr(x);
Edit11.Text:= FloatToStr(y);
Edit12.Text:= FloatToStr(W);
end;

```

```

end;
end.

```

### Unit3; interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type

TfrmAbout = class(TForm)

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Button3: TButton;

Button4: TButton;

Button5: TButton;

Button6: TButton;

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

procedure Button1Click(Sender: TObject);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  frmAbout: TfrmAbout;
implementation
uses Unit5, Unit6, Unit7, Unit8, Unit9, Unit10;
{$R *.DFM}
procedure TfrmAbout.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  frmTuc.show;
end;
procedure TfrmAbout.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  frmTum.show;
end;
procedure TfrmAbout.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  frmPom.show;
end;
procedure TfrmAbout.Button4Click(Sender: TObject);
begin
  frmDol.show;
end;
procedure TfrmAbout.Button5Click(Sender: TObject);
begin
  frmDr_vijit.show;
end;
procedure TfrmAbout.Button6Click(Sender: TObject);
begin
  frmChaitat.show;
end;
end.

```

#### Unit4;

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TfrmHelp = class(TForm)
```

```
  Image1: TImage;
```

```
  Label1: TLabel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  frmHelp: TfrmHelp;
implementation
{$R *.DFM}
end.

```

### Unit5;

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TfrmTuc = class(TForm)
```

```
Image1: TImage;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Label8: TLabel;
```

```
Label9: TLabel;
```

```
Label10: TLabel;
```

```
Label11: TLabel;
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
frmTuc: TfrmTuc;
```

```
implementation
```

```
{$R *.DFM}
```

```
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Unit6;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type

TfrmTum = class(TForm)

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

frmTum: TfrmTum;

implementation

{ \$R \*.DFM }

end.

## Unit7;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type

TfrmPom = class(TForm)

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

private

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;
var
    frmPom: TfrmPom;
implementation
    {$R *.DFM}
end.

```

### Unit8;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type

TfrmDol = class(TForm)

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

frmDol: TfrmDol;

implementation

{\$R \*.DFM}

end.

### Unit9;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type

TfrmDr\_vijit = class(TForm)

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  frmDr_vijit: TfrmDr_vijit;
implementation
{$R *.DFM}
end.

```

### Unit10;

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TfrmChaitat = class(TForm)
```

```
  Image1: TImage;
```

```
  Label1: TLabel;
```

```
  Label2: TLabel;
```

```
  Label3: TLabel;
```

```
  Label4: TLabel;
```

```
  Label5: TLabel;
```

```
  Label6: TLabel;
```

```
  Label7: TLabel;
```

```
  Label8: TLabel;
```

```
  Label9: TLabel;
```

```
  Label10: TLabel;
```

```
  Label12: TLabel;
```

```
private
```

```
  { Private declarations }
```

```
public
```

```
  { Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

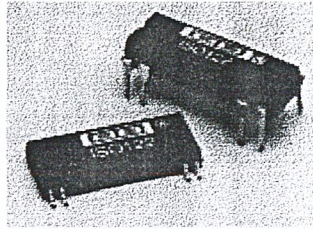
```
  frmChaitat: TfrmChaitat;
```

```
implementation
```

```
{$R *.DFM}
```

```
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISO122

## Precision Lowest Cost ISOLATION AMPLIFIER

### FEATURES

- 100% TESTED FOR HIGH-VOLTAGE BREAKDOWN
- RATED 1500Vrms
- HIGH IMR: 140dB at 60Hz
- BIPOLAR OPERATION:  $V_o = \pm 10V$
- 16-PIN PLASTIC DIP AND 28-LEAD SOIC
- EASE OF USE: Fixed Unity Gain Configuration
- 0.020% max NONLINEARITY
- $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$  SUPPLY RANGE

### APPLICATIONS

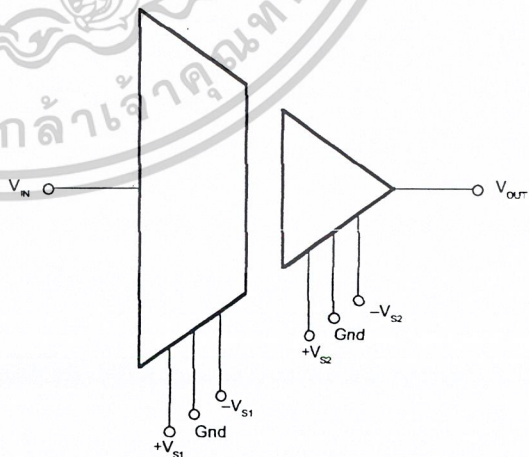
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL: Transducer Isolator, Isolator for Thermocouples, RTDs, Pressure Bridges, and Flow Meters, 4mA to 20mA Loop Isolation
- GROUND LOOP ELIMINATION
- MOTOR AND SCR CONTROL
- POWER MONITORING
- PC-BASED DATA ACQUISITION
- TEST EQUIPMENT

### DESCRIPTION

The ISO122 is a precision isolation amplifier incorporating a novel duty cycle modulation-demodulation technique. The signal is transmitted digitally across a 2pF differential capacitive barrier. With digital modulation the barrier characteristics do not affect signal integrity, resulting in excellent reliability and good high frequency transient immunity across the barrier. Both barrier capacitors are imbedded in the plastic body of the package.

The ISO122 is easy to use. No external components are required for operation. The key specifications are 0.020% max nonlinearity, 50kHz signal bandwidth, and  $200\mu V/^\circ C$   $V_{OS}$  drift. A power supply range of  $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$  and quiescent currents of  $\pm 5.0mA$  on  $V_{S1}$  and  $\pm 5.5mA$  on  $V_{S2}$  make these amplifiers ideal for a wide range of applications.

The ISO122 is available in 16-pin plastic DIP and 28-lead plastic surface mount packages.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400 • Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd. • Tucson, AZ 85706  
Tel: (520) 746-1111 • Trx: 910-952-1111 • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPECIFICATIONS

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{S1} = V_{S2} = \pm 15\text{V}$ , and  $R_L = 2\text{k}\Omega$  unless otherwise noted.

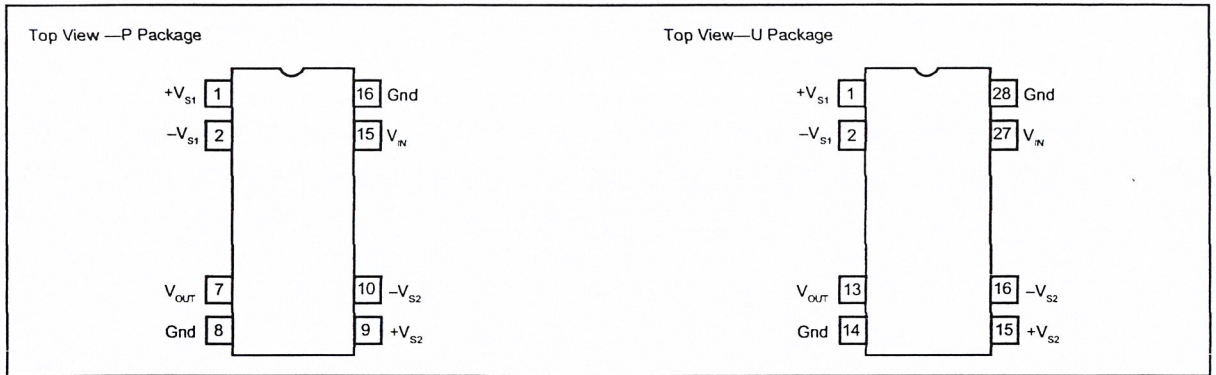
PARAMETER	CONDITIONS	ISO122P/U			ISO122JP/JU			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>ISOLATION</b>								
Voltage Rated Continuous AC 60Hz 100% Test <sup>(1)</sup>	1s, 5pc PD 60Hz  $V_{iso} = 240\text{Vrms}$	1500			*			VAC
Isolation Mode Rejection		2400	140		*	*		VAC
Barrier Impedance			$10^4 \parallel 2$			*		dB
Leakage Current at 60Hz			0.18	0.5		*	*	$\Omega \parallel \text{pF}$ $\mu\text{Arms}$
<b>GAIN</b>								
Nominal Gain	$V_o = \pm 10\text{V}$		1			*		V/V
Gain Error			$\pm 0.05$	$\pm 0.50$		*	*	%FSR
Gain vs Temperature			$\pm 10$			*		ppm/ $^\circ\text{C}$
Nonlinearity <sup>(2)</sup>			$\pm 0.016$	$\pm 0.020$		$\pm 0.025$	$\pm 0.050$	%FSR
<b>INPUT OFFSET VOLTAGE</b>								
Initial Offset			$\pm 20$	$\pm 50$		*	*	mV
vs Temperature			$\pm 200$			*		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Supply			$\pm 2$			*		mV/V
Noise			4			*		$\mu\text{V}/\text{Hz}$
<b>INPUT</b>								
Voltage Range		$\pm 10$	$\pm 12.5$		*	*		V
Resistance			200			*		k $\Omega$
<b>OUTPUT</b>								
Voltage Range		$\pm 10$	$\pm 12.5$		*	*		V
Current Drive		$\pm 5$	$\pm 15$		*	*		mA
Capacitive Load Drive			0.1		*	*		$\mu\text{F}$
Ripple Voltage <sup>(3)</sup>			20		*	*		mVp-p
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>								
Small Signal Bandwidth	$V_o = \pm 10\text{V}$		50		*	*		kHz
Slew Rate			2		*	*		V/ $\mu\text{s}$
Settling Time				50		*	*	$\mu\text{s}$
0.1%				350		*	*	$\mu\text{s}$
0.01%				150		*	*	$\mu\text{s}$
Overload Recover Time					*	*	$\mu\text{s}$	
<b>POWER SUPPLIES</b>								
Rated Voltage			$\pm 15$		*	*		V
Voltage Range		$\pm 4.5$		$\pm 18$		*	*	V
Quiescent Current: $V_{S1}$			$\pm 5.0$	$\pm 7.0$		*	*	mA
$V_{S2}$			$\pm 5.5$	$\pm 7.0$		*	*	mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Specification		-25		+85	*	*		$^\circ\text{C}$
Operating		-25		+85	*	*		$^\circ\text{C}$
Storage		-40		+85	*	*		$^\circ\text{C}$
$\theta_{JA}$			100		*	*		$^\circ\text{C}/\text{W}$
$\theta_{JC}$			65		*	*		$^\circ\text{C}/\text{W}$

\* Specification same as ISO122P/U.

NOTES: (1) Tested at 1.6 X rated, fail on 5pC partial discharge. (2) Nonlinearity is the peak deviation of the output voltage from the best-fit straight line. It is expressed as the ratio of deviation to FSR. (3) Ripple frequency is at carrier frequency (500kHz).

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

**CONNECTION DIAGRAM**



**PACKAGE INFORMATION<sup>(1)</sup>**

MODEL	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER
ISO122P	16-Pin Plastic DIP	238
ISO122JP	16-Pin Plastic DIP	238
ISO122U	28-Pin Plastic SOIC	217-1
ISO122JU	28-Pin Plastic SOIC	217-1

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix D of Burr-Brown IC Data Book.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Supply Voltage	±18V
V <sub>IN</sub>	±100V
Continuous Isolation Voltage	1500Vrms
Junction Temperature	+150°C
Storage Temperature	+85°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Output Short to Common	Continuous

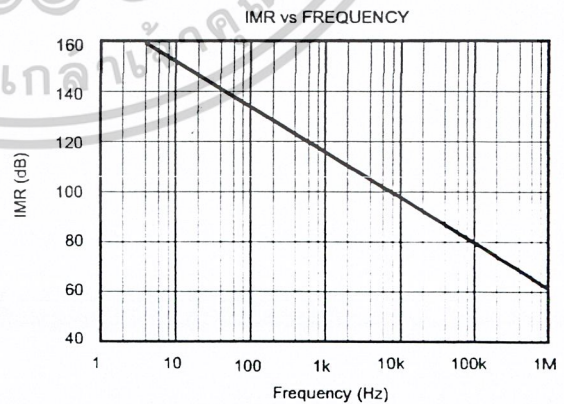
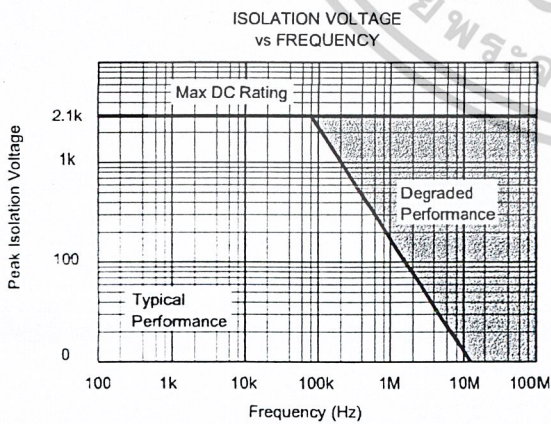
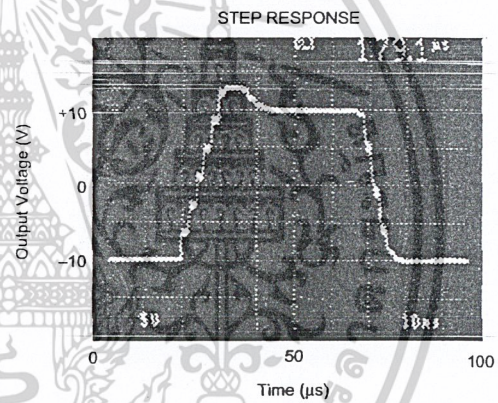
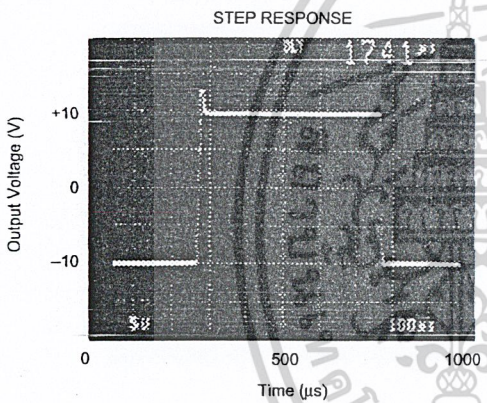
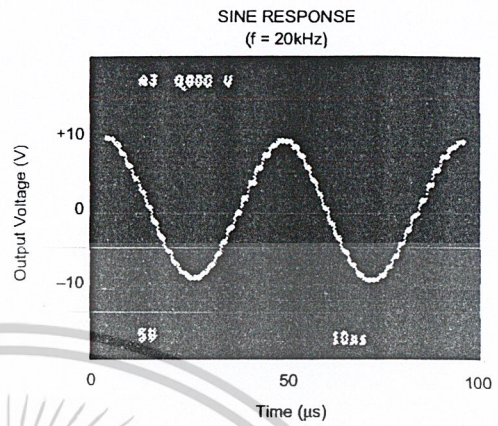
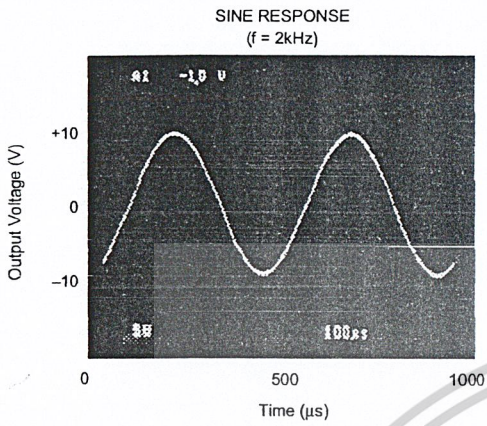
**ORDERING INFORMATION**

MODEL	PACKAGE	NONLINEARITY MAX %FSR
ISO122P	Plastic DIP	±0.020
ISO122JP	Plastic DIP	±0.050
ISO122U	Plastic SOIC	±0.020
ISO122JU	Plastic SOIC	±0.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

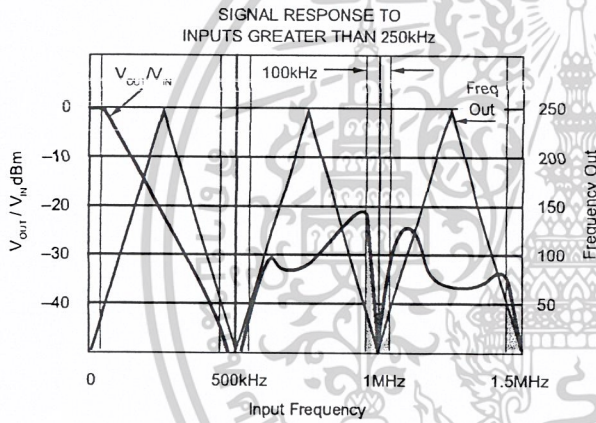
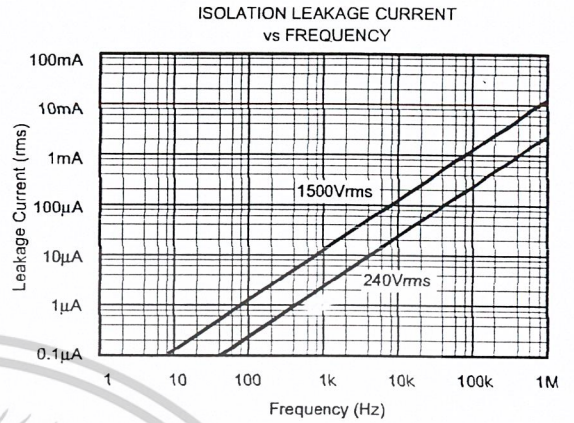
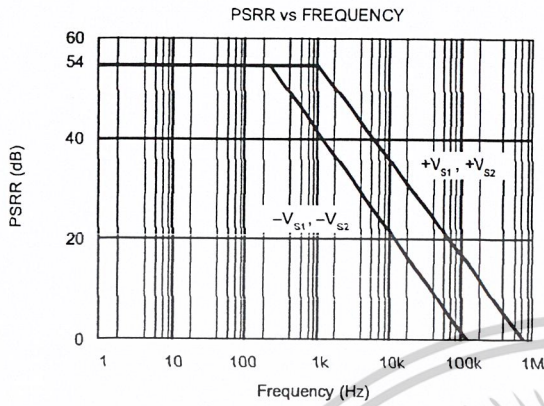
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

$T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$  unless otherwise noted.



# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

$T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$  unless otherwise noted.



(NOTE: Shaded area shows aliasing frequencies that cannot be removed by a low-pass filter at the output.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THEORY OF OPERATION

The ISO122 isolation amplifier uses an input and an output section galvanically isolated by matched 1pF isolating capacitors built into the plastic package. The input is duty-cycle modulated and transmitted digitally across the barrier. The output section receives the modulated signal, converts it back to an analog voltage and removes the ripple component inherent in the demodulation. Input and output sections are fabricated, then laser trimmed for exceptional circuitry matching common to both input and output sections. The sections are then mounted on opposite ends of the package with the isolating capacitors mounted between the two sections. The transistor count of the ISO122 is 250 transistors.

## MODULATOR

An input amplifier (A1, Figure 1) integrates the difference between the input current ( $V_{IN}/200k\Omega$ ) and a switched  $\pm 100\mu A$  current source. This current source is implemented by a switchable  $200\mu A$  source and a fixed  $100\mu A$  current sink. To understand the basic operation of the modulator, assume that  $V_{IN} = 0.0V$ . The integrator will ramp in one direction until the comparator threshold is exceeded. The comparator and sense amp will force the current source to switch; the resultant signal is a triangular waveform with a 50% duty cycle. The internal oscillator forces the current source to switch at 500kHz. The resultant capacitor drive is a complementary duty-cycle modulation square wave.

## DEMODULATOR

The sense amplifier detects the signal transitions across the capacitive barrier and drives a switched current source into integrator A2. The output stage balances the duty-cycle modulated current against the feedback current through the  $200k\Omega$  feedback resistor, resulting in an average value at the

$V_{OUT}$  pin equal to  $V_{IN}$ . The sample and hold amplifiers in the output feedback loop serve to remove undesired ripple voltages inherent in the demodulation process.

# BASIC OPERATION

## SIGNAL AND SUPPLY CONNECTIONS

Each power supply pin should be bypassed with  $1\mu F$  tantalum capacitors located as close to the amplifier as possible. The internal frequency of the modulator/demodulator is set at 500kHz by an internal oscillator. Therefore, if it is desired to minimize any feedthrough noise (beat frequencies) from a DC/DC converter, use a  $\pi$  filter on the supplies (see Figure 4). ISO122 output has a 500kHz ripple of 20mV, which can be removed with a simple two pole low-pass filter with a 100kHz cutoff using a low cost op amp. See Figure 4.

The input to the modulator is a current (set by the  $200k\Omega$  integrator input resistor) that makes it possible to have an input voltage greater than the input supplies, as long as the output supply is at least  $\pm 15V$ . It is therefore possible when using an unregulated DC/DC converter to minimize PSR related output errors with  $\pm 5V$  voltage regulators on the isolated side and still get the full  $\pm 10V$  input and output swing. An example of this application is shown in Figure 10.

## CARRIER FREQUENCY CONSIDERATIONS

The ISO122 amplifier transmits the signal across the isolation barrier by a 500kHz duty cycle modulation technique. For input signals having frequencies below 250kHz, this system works like any linear amplifier. But for frequencies above 250kHz, the behavior is similar to that of a sampling amplifier. The signal response to inputs greater than 250kHz

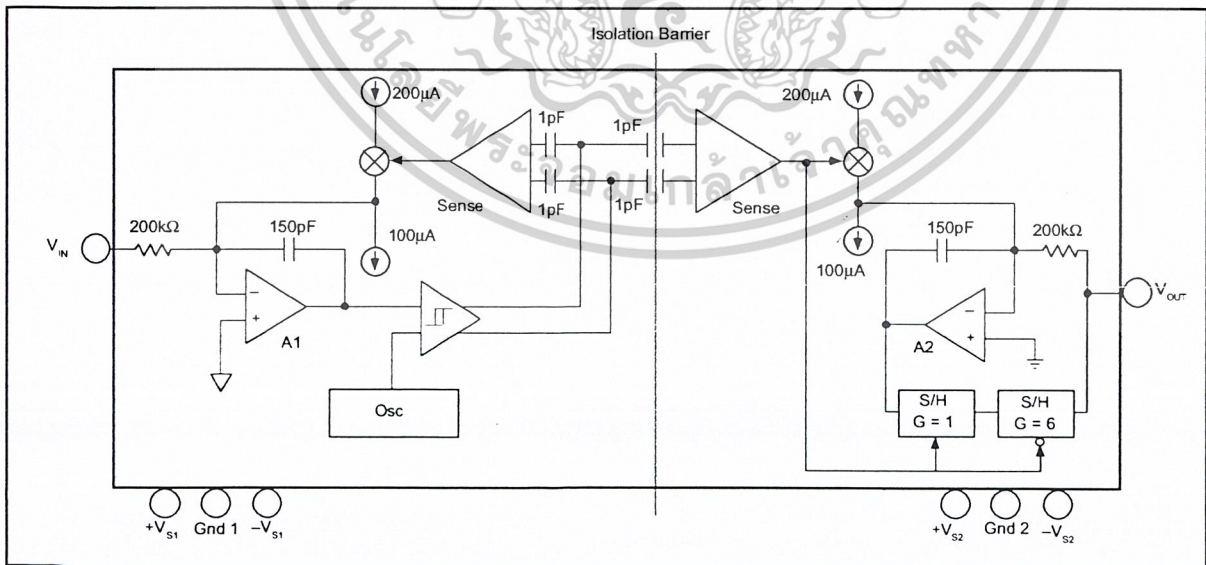


FIGURE 1. Block Diagram

performance curve shows this behavior graphically; at input frequencies above 250kHz the device generates an output signal component of reduced magnitude at a frequency below 250kHz. This is the aliasing effect of sampling at frequencies less than 2 times the signal frequency (the Nyquist frequency). Note that at the carrier frequency and its harmonics, both the frequency and amplitude of the aliasing go to zero.

### ISOLATION MODE VOLTAGE INDUCED ERRORS

IMV can induce errors at the output as indicated by the plots of IMV vs Frequency. It should be noted that if the IMV frequency exceeds 250kHz, the output also will display spurious outputs (aliasing), in a manner similar to that for  $V_{IN} > 250\text{kHz}$  and the amplifier response will be identical to that shown in the Signal Response to Inputs Greater Than 250kHz performance curve. This occurs because IMV-induced errors behave like input-referred error signals. To predict the total error, divide the isolation voltage by the IMR shown in the IMR vs Frequency curve and compute the amplifier response to this input-referred error signal from the data given in the Signal Response to Inputs Greater than 250kHz performance curve. For example, if a 800kHz 1000Vrms IMR is present, then a total of  $[(-60\text{dB}) + (-30\text{dB})] \times (1000\text{V}) = 32\text{mV}$  error signal at 200kHz plus a 1V, 800kHz error signal will be present at the output.

### HIGH IMV dV/dt ERRORS

As the IMV frequency increases and the dV/dt exceeds 1000V/ $\mu\text{s}$ , the sense amp may start to false trigger, and the output will display spurious errors. The common mode current being sent across the barrier by the high slew rate is the cause of the false triggering of the sense amplifier. Lowering the power supply voltages below  $\pm 15\text{V}$  may decrease the dV/dt to 500V/ $\mu\text{s}$  for typical performance.

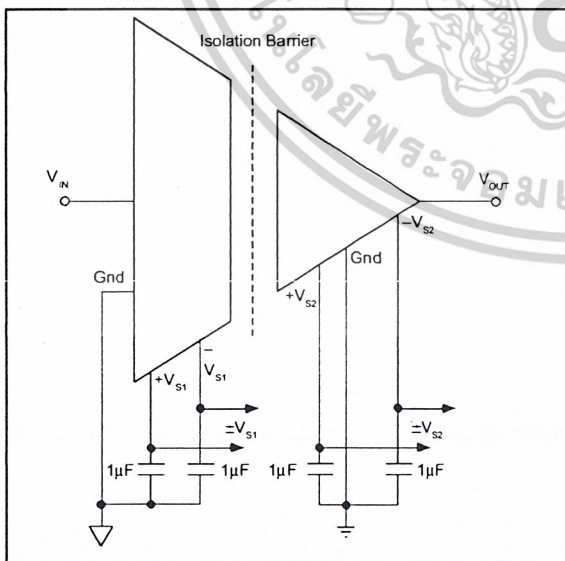


FIGURE 2. Basic Signal and Power Connections.

### HIGH VOLTAGE TESTING

Burr-Brown Corporation has adopted a partial discharge test criterion that conforms to the German VDE0884 Optocoupler Standards. This method requires the measurement of minute current pulses ( $<5\text{pC}$ ) while applying 2400Vrms, 60Hz high voltage stress across every ISO122 isolation barrier. No partial discharge may be initiated to pass this test. This criterion confirms transient overvoltage ( $1.6 \times 1500\text{Vrms}$ ) protection without damage to the ISO122. Lifetest results verify the absence of failure under continuous rated voltage and maximum temperature.

This new test method represents the "state of the art" for non-destructive high voltage reliability testing. It is based on the effects of non-uniform fields that exist in heterogeneous dielectric material during barrier degradation. In the case of void non-uniformities, electric field stress begins to ionize the void region before bridging the entire high voltage barrier. The transient conduction of charge during and after the ionization can be detected externally as a burst of 0.01-0.1 $\mu\text{s}$  current pulses that repeat on each AC voltage cycle. The minimum AC barrier voltage that initiates partial discharge is defined as the "inception voltage." Decreasing the barrier voltage to a lower level is required before partial discharge ceases and is defined as the "extinction voltage." We have characterized and developed the package insulation processes to yield an inception voltage in excess of 2400Vrms so that transient overvoltages below this level will not damage the ISO122. The extinction voltage is above 1500Vrms so that even overvoltage induced partial discharge will cease once the barrier voltage is reduced to the 1500Vrms (rated) level. Older high voltage test methods relied on applying a large enough overvoltage (above rating) to break down marginal parts, but not so high as to damage good ones. Our new partial discharge testing gives us more confidence in barrier reliability than breakdown/no breakdown criteria.

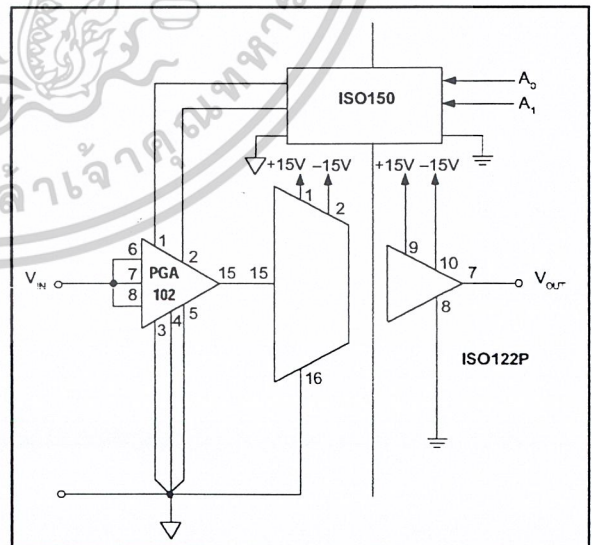


FIGURE 3. Programmable-Gain Isolation Channel with Gains of 1, 10, and 100.

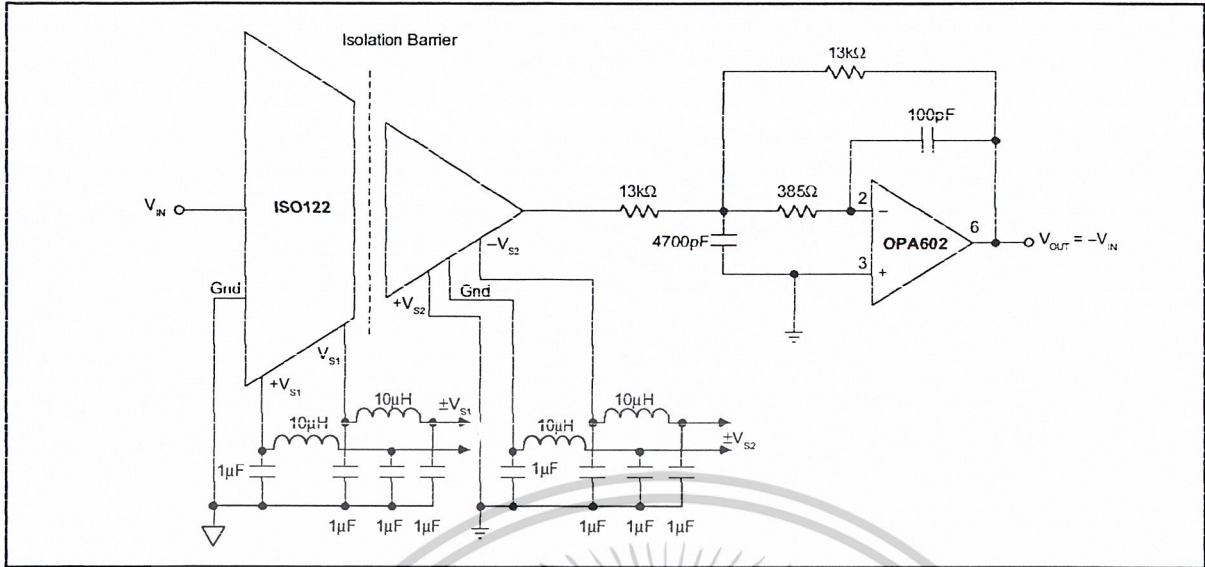


FIGURE 4. Optional  $\pi$  Filter to Minimize Power Supply Feedthrough Noise; Output Filter to Remove 500kHz Carrier Ripple. For more information concerning output filter refer to AB-023.

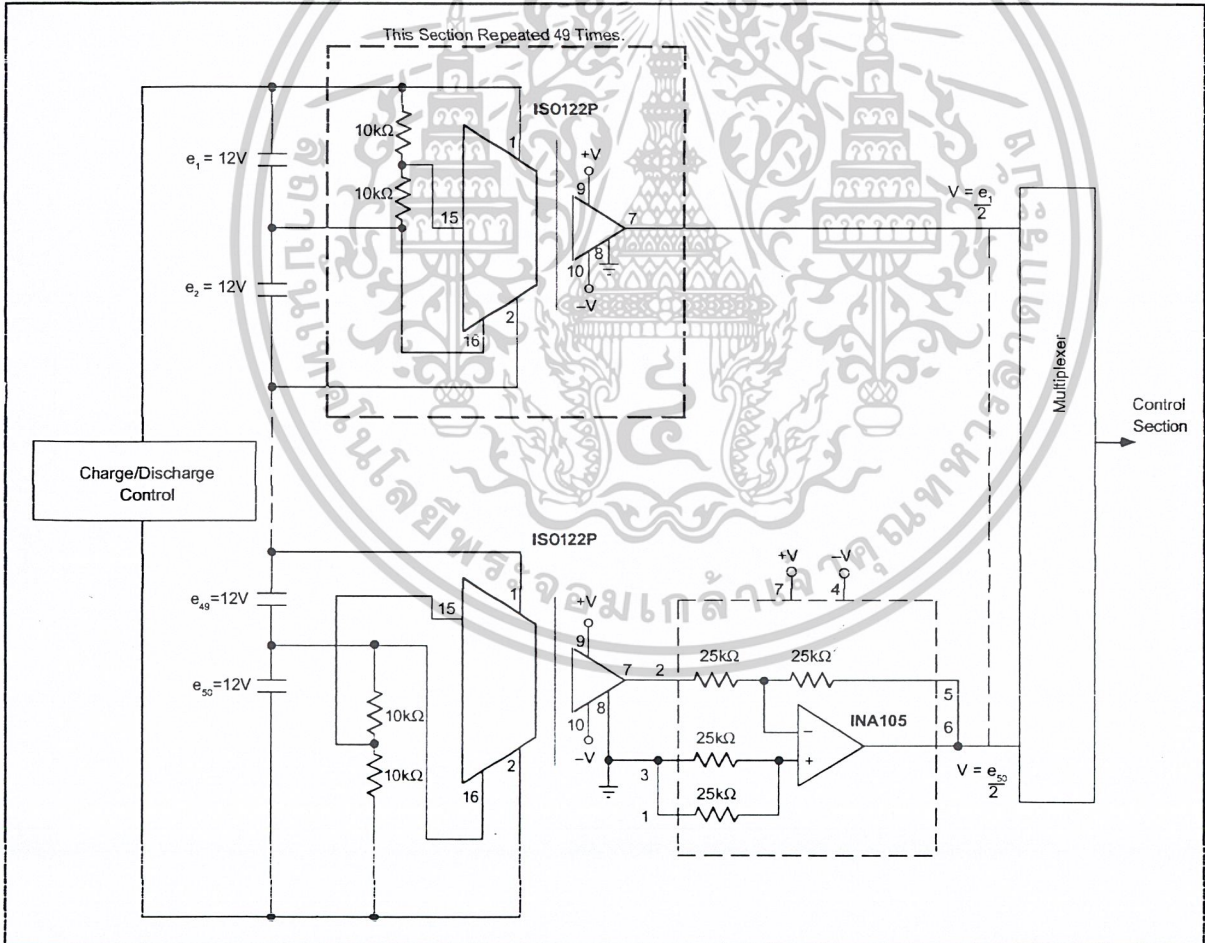


FIGURE 5. Battery Monitor for a 600V Battery Power System. (Derives Input Power from the Battery.)

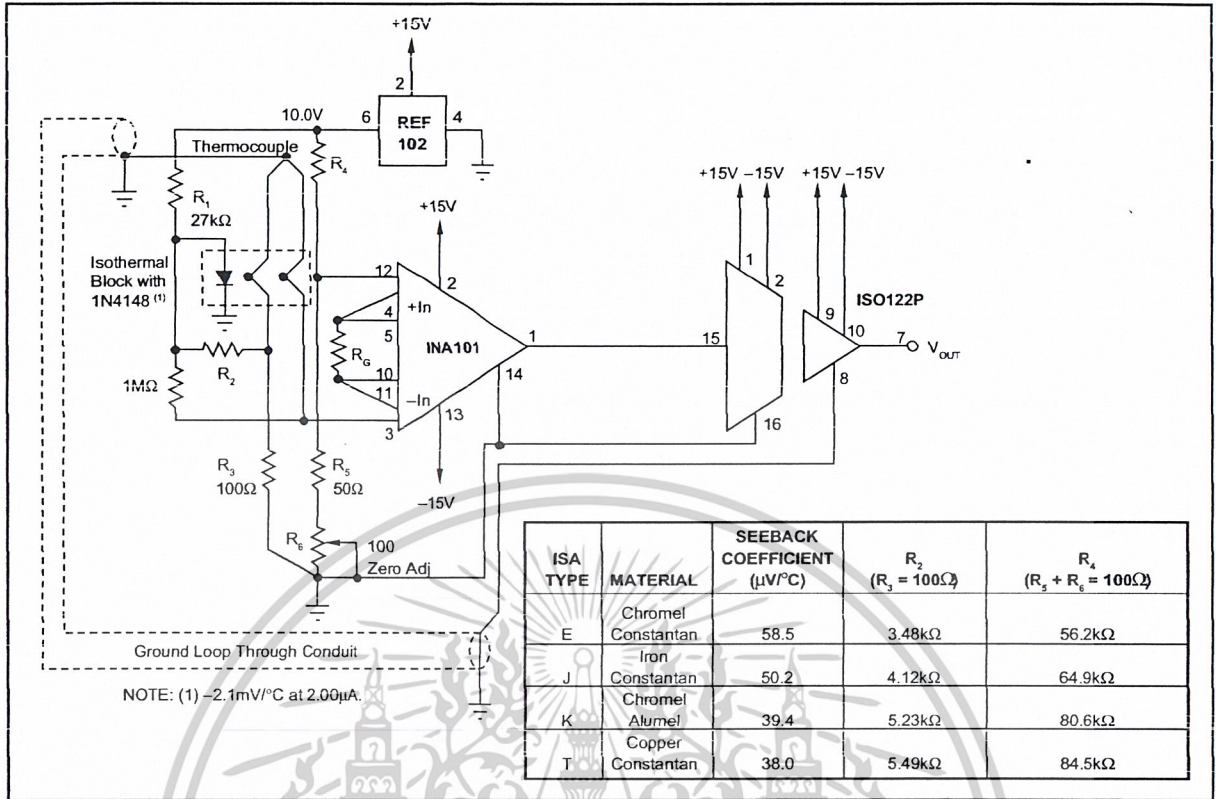


FIGURE 6. Thermocouple Amplifier with Ground Loop Elimination, Cold Junction Compensation, and Up-scale Burn-out.

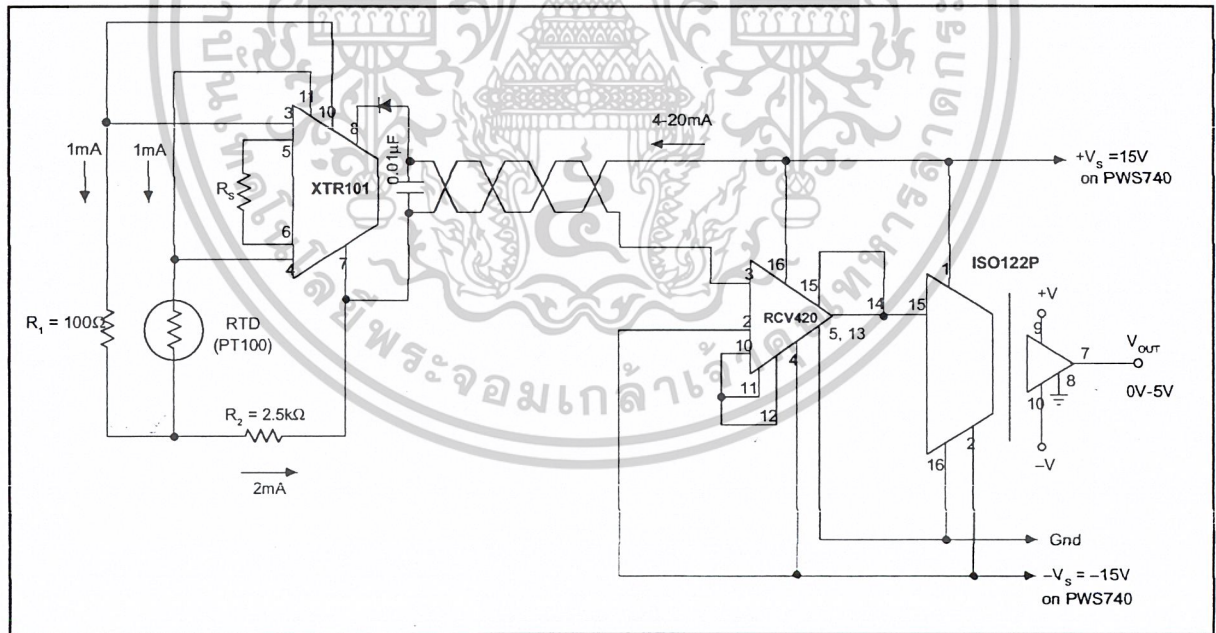


FIGURE 7. Isolated 4-20mA Instrument Loop. (RTD shown.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

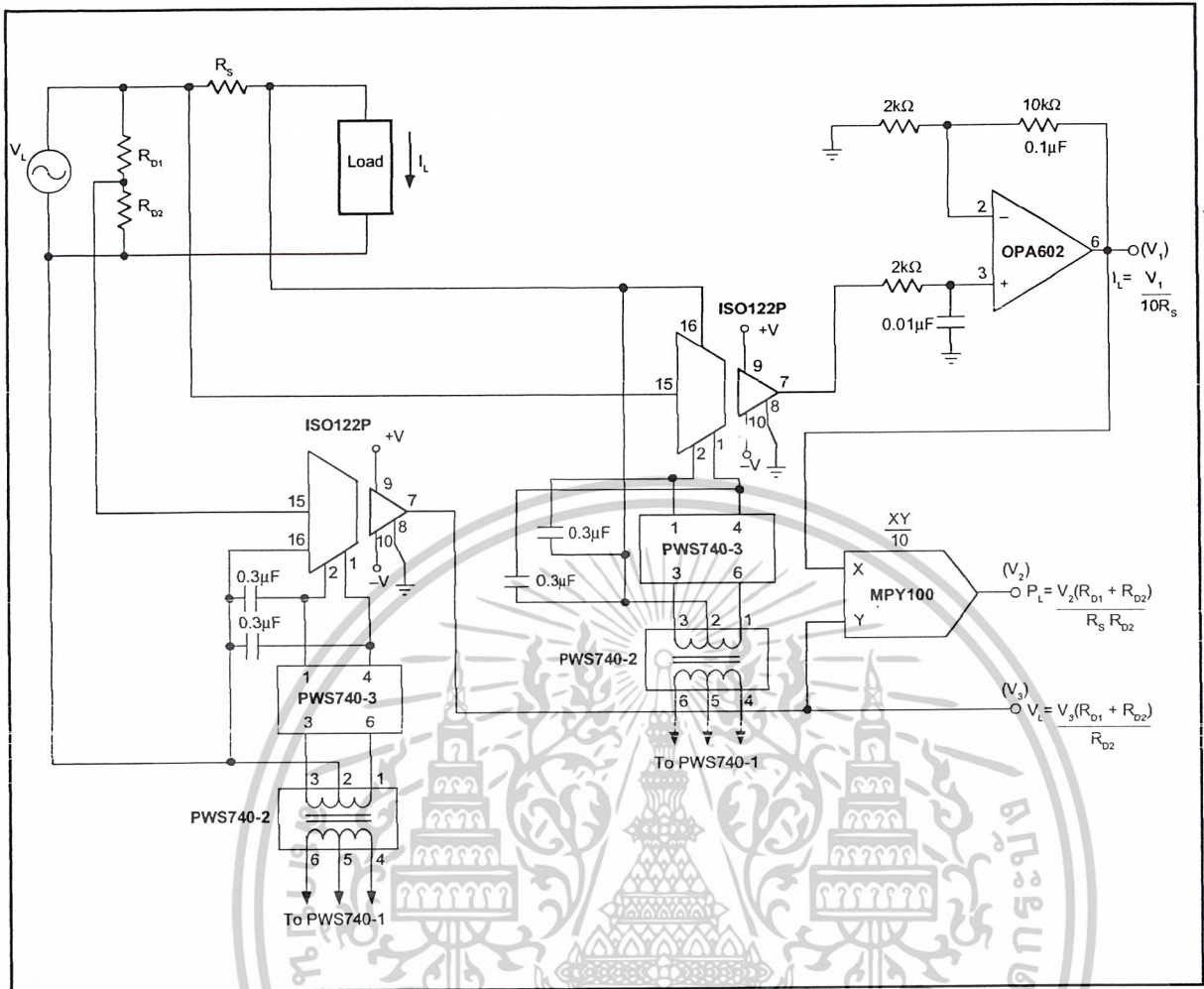


FIGURE 8. Isolated Power Line Monitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

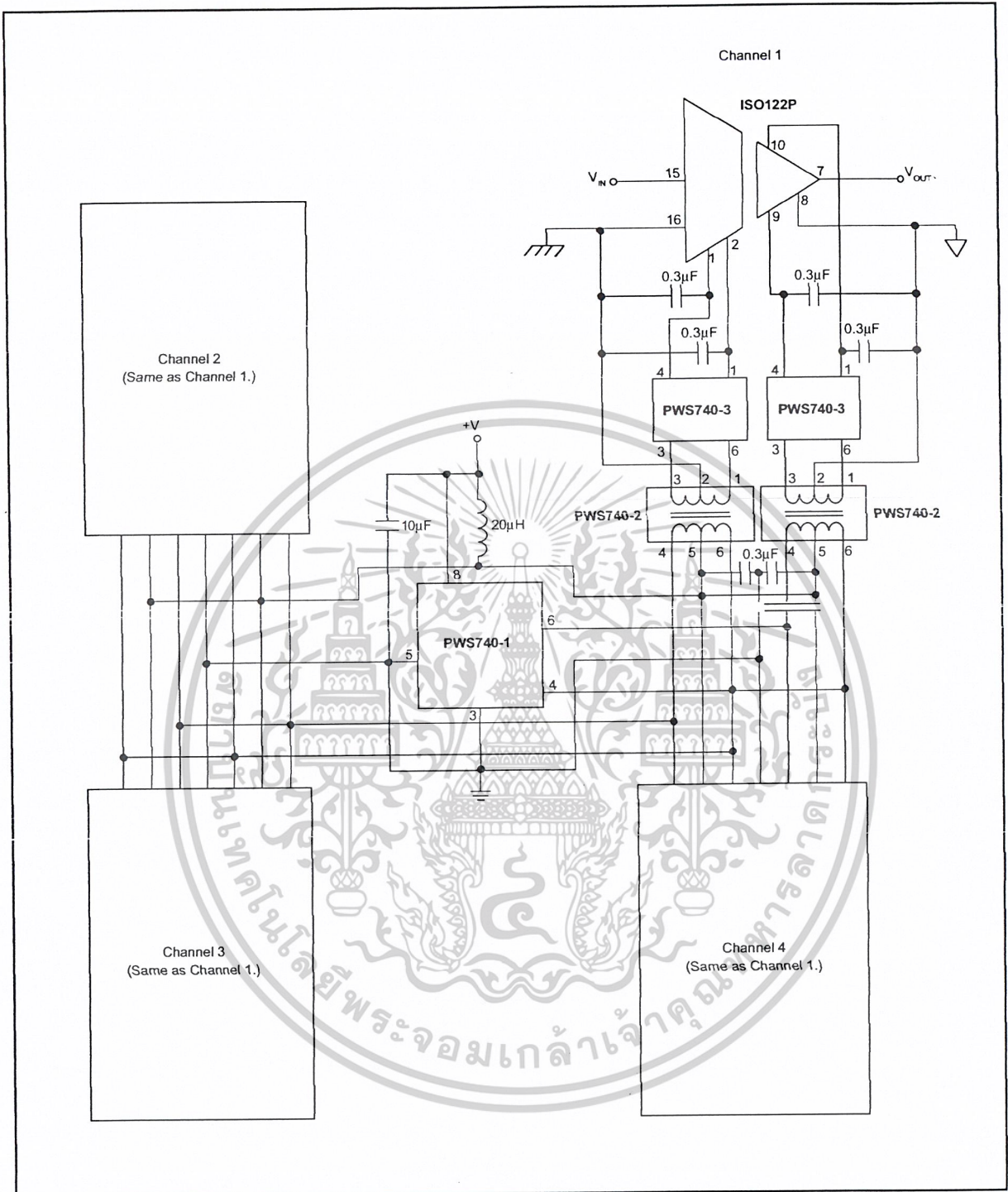


FIGURE 9. Three-Port, Low-Cost, Four-Channel Isolated, Data Acquisition System.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



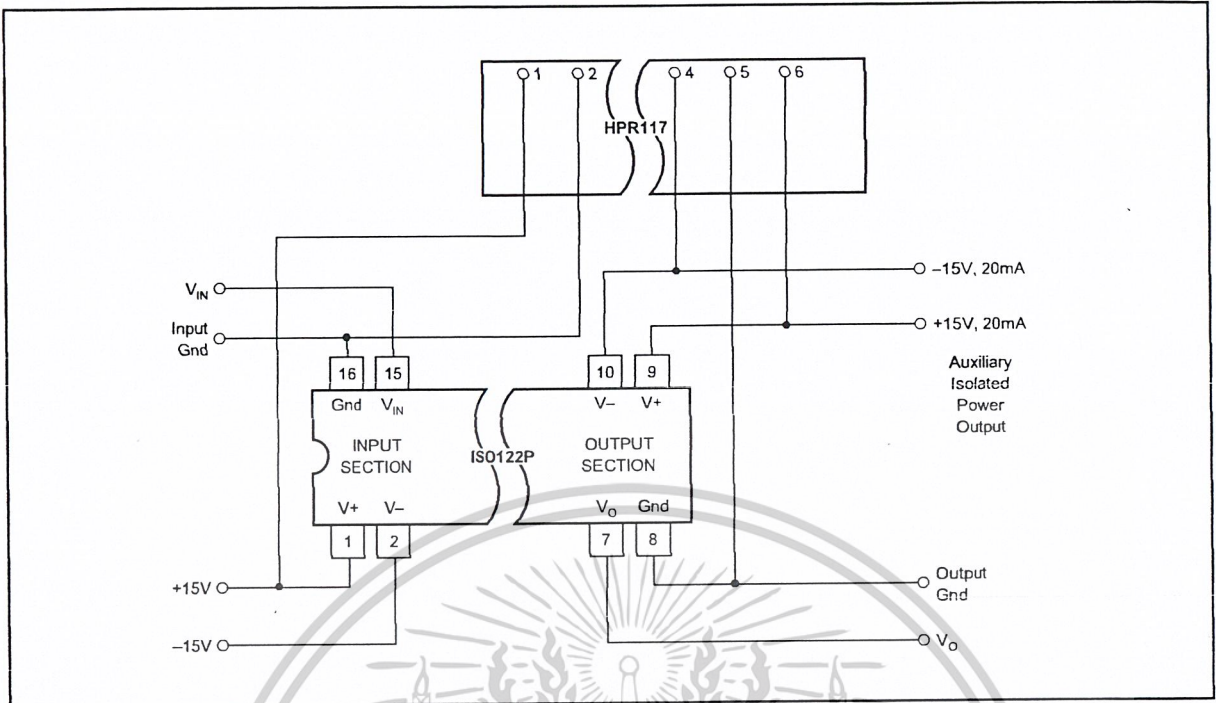


FIGURE 12. Input-Side Powered ISO Amp. For additional information refer to AB-024.

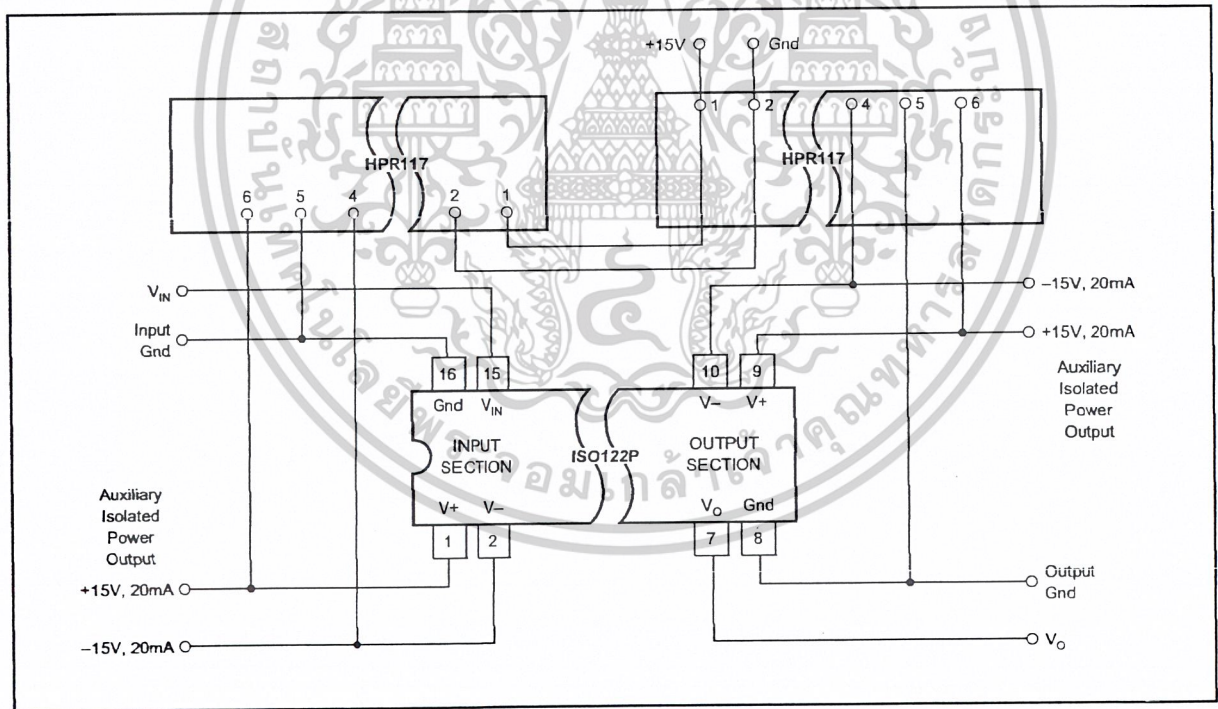


FIGURE 13. Powered ISO Amp with Three-Port Isolation. For additional information refer to AB-024.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGING INFORMATION**

ORDERABLE DEVICE	STATUS(1)	PACKAGE TYPE	PACKAGE DRAWING	PINS	PACKAGE QTY
ISO122JP	ACTIVE	PDIP	NVF	8	50
ISO122JU	ACTIVE	SOP	DVA	8	28
ISO122JU/1K	ACTIVE	SOP	DVA	8	1000
ISO122P	ACTIVE	PDIP	NVF	8	50
ISO122U	ACTIVE	SOP	DVA	8	28
ISO122U/1K	ACTIVE	SOP	DVA	8	1000

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSELETE:** TI has discontinued the production of the device.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

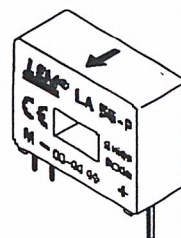
Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Transducer LA 55-P

$$I_{PN} = 50 \text{ A}$$

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



### Electrical data

$I_{PN}$	Primary nominal r.m.s. current	50	A					
$I_P$	Primary current, measuring range	0 .. $\pm 70$	A					
$R_M$	Measuring resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$		$T_A = 85^\circ\text{C}$				
		$R_{M \min}$	$R_{M \max}$	$R_{M \min}$	$R_{M \max}$			
		with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{\max}$	10	100	60	95	$\Omega$
			@ $\pm 70 \text{ A}_{\max}$	10	50	60 <sup>1)</sup>	60 <sup>1)</sup>	$\Omega$
with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{\max}$	50	160	135	155	$\Omega$		
	@ $\pm 70 \text{ A}_{\max}$	50	90	135 <sup>2)</sup>	135 <sup>2)</sup>	$\Omega$		
$I_{SN}$	Secondary nominal r.m.s. current	50	mA					
$K_N$	Conversion ratio	1 : 1000						
$V_C$	Supply voltage ( $\pm 5\%$ )	$\pm 12 \dots 15$	V					
$I_C$	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$ ) + $I_S$	mA					
$V_d$	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV					

### Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

### Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

### Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

### Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	$\pm 0.65$	%
		@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	$\pm 0.90$	%
$\epsilon_L$	Linearity		< 0.15	%
$I_O$	Offset current @ $I_P = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	$\pm 0.2$	mA
		Max	$\pm 0.3$	mA
$I_{OM}$	Residual current <sup>3)</sup> @ $I_P = 0$ , after an overload of $3 \times I_{PN}$		$\pm 0.1$	mA
$I_{OT}$	Thermal drift of $I_O$	0°C .. +70°C	$\pm 0.1$	mA
		-25°C .. +85°C	$\pm 0.1$	mA
$t_{ra}$	Reaction time @ 10 % of $I_{PN}$		< 500	ns
$t_r$	Response time @ 90 % of $I_{PN}$		< 1	$\mu\text{s}$
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/ $\mu\text{s}$
f	Frequency bandwidth (-1 dB)		DC .. 200	kHz

### General data

$T_A$	Ambient operating temperature	-25 .. +85	$^\circ\text{C}$	
$T_S$	Ambient storage temperature	-40 .. +90	$^\circ\text{C}$	
$R_S$	Secondary coil resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$	80	$\Omega$
		$T_A = 85^\circ\text{C}$	85	$\Omega$
m	Mass Standards <sup>4)</sup>	18	g	
		EN 50178(97.10.01)		

- Notes : <sup>1)</sup> Measuring range limited to  $\pm 60 \text{ A}_{\max}$   
<sup>2)</sup> Measuring range limited to  $\pm 55 \text{ A}_{\max}$   
<sup>3)</sup> Result of the coercive field of the magnetic circuit  
<sup>4)</sup> A list of corresponding tests is available

030709/9



**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
TL084, TL084A, TL084B  
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ $\mu$ s Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes  $V_{CC+}$

**description/ordering information**

The TL08x JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset-voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

**ORDERING INFORMATION**

$T_J$	$V_{IOmax}$ AT 25°C	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING		
0°C to 70°C	15 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081CP	TL081CP	
			Tube of 50	TL082CP	TL082CP	
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084CN	TL084CN	
			Tube of 75	TL081CD	TL081C	
		Reel of 2500	TL081CDR			
		SOIC (D)	Tube of 75	TL082CD	TL082C	
			Reel of 2500	TL082CDR		
			Tube of 50	TL084CD	TL084C	
			Reel of 2500	TL084CDR		
		SOP (PS)	Reel of 2000	TL081CPSR	T081	
			Reel of 2000	TL082CPSR	T082	
		SOP (NS)	Reel of 2000	TL084CNSR	TL084	
		TSSOP (PW)	Tube of 150	TL082CPW	T082	
			Reel of 2000	TL082CPWR		
			Tube of 90	TL084CPW	T084	
			Reel of 2000	TL084CPWR		

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B**  
**TL084, TL084A, TL084B**  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

description/ordering information (continued)

**ORDERING INFORMATION**

T <sub>J</sub>	V <sub>IO</sub> max AT 25°C	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	6 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081ACP	TL081ACP
			Tube of 50	TL082ACP	TL082ACP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084ACN	TL084ACN
		SOIC (D)	Tube of 75	TL081ACD	081AC
			Reel of 2500	TL081ACDR	
			Tube of 75	TL082ACD	032AC
			Reel of 2500	TL082ACDR	
		SOP (PS)	Reel of 2000	TL082ACPSR	T082A
	Reel of 2000		TL084ACNSR	TL084A	
	3 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081BCP	TL081BCP
			Tube of 50	TL082BCP	TL082BCP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084BCN	TL084BCN
			Tube of 75	TL081BCD	081BC
		Reel of 2500	TL081BCDR		
SOIC (D)		Tube of 75	TL082BCD	082BC	
		Reel of 2500	TL082BCDR		
TL084BCD		Tube of 50	TL084BCD	TL084BC	
	Reel of 2500	TL084BCDR			
-40°C to 85°C	6 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081IP	TL081IP
			Tube of 50	TL082IP	TL082IP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084IN	TL081IN
			Tube of 75	TL081ID	TL081I
		Reel of 2500	TL081IDR		
		SOIC (D)	Tube of 75	TL082ID	TL082I
			Reel of 2500	TL082IDR	
		TL084ID	Tube of 50	TL084ID	TL084I
			Reel of 2500	TL084IDR	
		TSSOP (PW)	Reel of 2000	TL082IPWR	Z082
-40°C to 125°C	9 mV	SOIC (D)	Tube of 50	TL084QD	TL084QD
			Reel of 2500	TL084QDR	
-55°C to 125°C	9 mV	CDIP (J)	Tube of 25	TL084MJ	TL084MJ
		LCCC (FK)	Reel of 55	TL084FK	TL084FK
	6 mV	CDIP (JG)	Tube of 50	TL082MJG	TL082MJG
		LCCC (FK)	Tube of 55	TL082MFK	TL082MFK

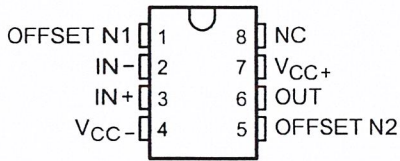
† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



# TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B TL084, TL084A, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

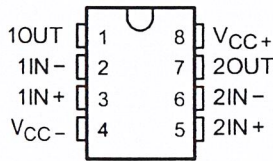
SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

TL081, TL081A, TL081B  
D, P, OR PS PACKAGE  
(TOP VIEW)

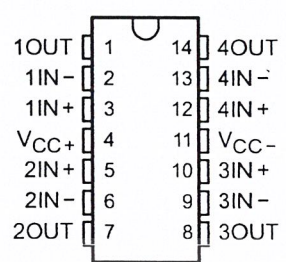


NC - No internal connection

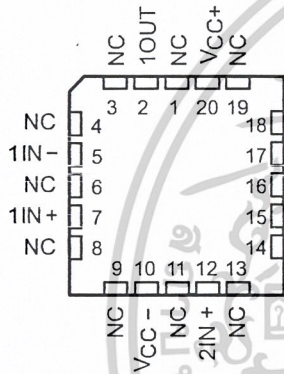
TL082, TL082A, TL082B  
D, JG, P, PS, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



TL084, TL084A, TL084B  
D, J, N, NS, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)

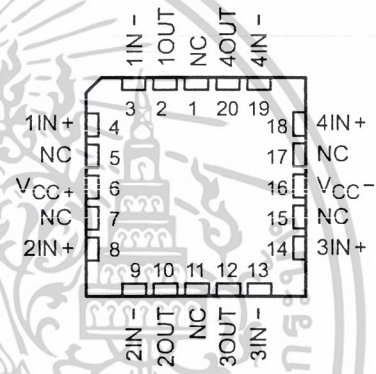


TL082M . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



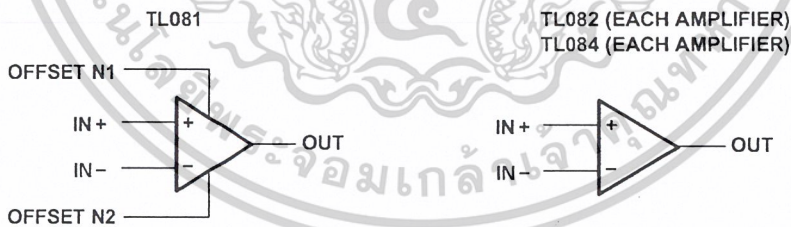
NC - No internal connection

TL084M . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

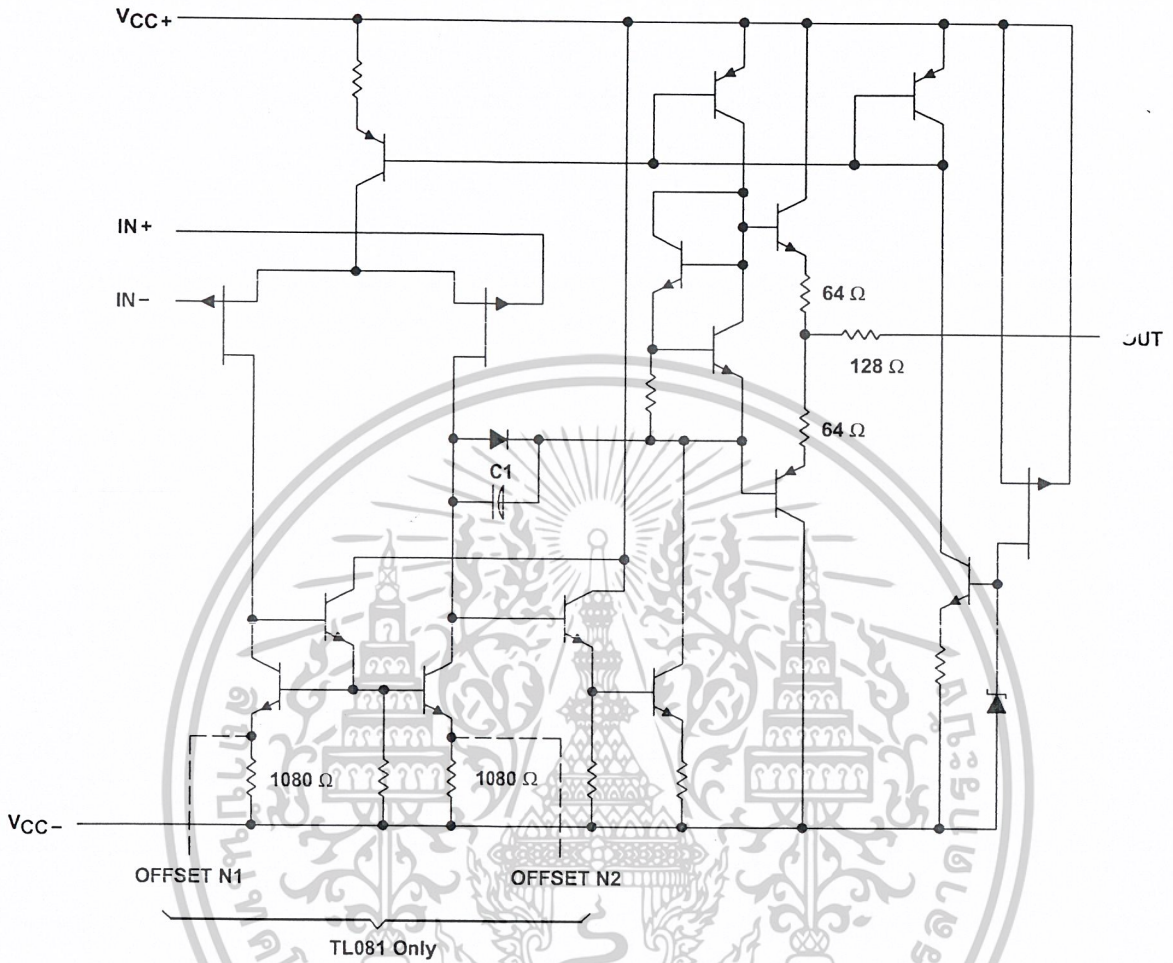
## symbols



**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
TL084, TL084A, TL084B  
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

**schematic (each amplifier)**



Component values shown are nominal.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B**  
**TL084, TL084A, TL084B**  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

		TL08_C TL08_AC TL08_BC	TL08_I	TL084Q	TL08_M	UNIT
Supply voltage, $V_{CC+}$ (see Note 1)		18	18	18	18	V
Supply voltage $V_{CC-}$ (see Note 1)		-18	-18	-18	-18	V
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)		$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	V
Input voltage, $V_I$ (see Notes 1 and 3)		$\pm 15$	$\pm 15$	$\pm 15$	$\pm 15$	V
Duration of output short circuit (see Note 4)		Unlimited	Unlimited	Unlimited	Unlimited	
Continuous total power dissipation		See Dissipation Rating Table				
Operating free-air temperature range, $T_A$		0 to 70	-40 to 85	-40 to 125	-55 to 125	°C
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 5 and 6)	D package (8-pin)	97	97			°C/W
	D package (14-pin)	86	86			
	N package (14-pin)	76	76			
	NS package (14-pin)	80				
	P package (8-pin)	85	85			
	PS package (8-pin)	95	95			
	PW package (14-pin)	113	113			
Operating virtual junction temperature		150	150	150	150	°C
Case temperature for 60 seconds, $T_C$	FK package				260	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J or JG package				300	°C
Storage temperature range, $T_{stg}$		-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between  $V_{CC+}$  and  $V_{CC-}$ .
  2. Differential voltages are at  $IN+$  with respect to  $IN-$ .
  3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
  4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
  5. Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\max)$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.
  6. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

**DISSIPATION RATING TABLE**

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE $T_A$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
D (14 pin)	680 mW	7.6 mW/°C	60°C	604 mW	490 mW	186 mW
FK	680 mW	11.0 mW/°C	88°C	680 mW	680 mW	273 mW
J	680 mW	11.0 mW/°C	88°C	680 mW	680 mW	273 mW
JG	680 mW	8.4 mW/°C	69°C	672 mW	546 mW	210 mW



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B**  
**TL084, TL084A, TL084B**  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

electrical characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>A</sub> <sup>†</sup>	TL081C TL082C TL084C			TL081AC TL082AC TL084AC			TL081BC TL082BC TL084BC			TL081I TL082I TL084I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V <sub>IO</sub>	V <sub>O</sub> = 0 R <sub>S</sub> = 50 Ω	25°C Full range	3	15	20	3	6	7.5	2	3	5	3	6	9	mV
αV <sub>IO</sub>	V <sub>O</sub> = 0 R <sub>S</sub> = 50 Ω	Full range	18			18			18			18			μV/°C
I <sub>IO</sub>	V <sub>O</sub> = 0	25°C Full range	5	200	2	5	100	2	5	100	5	100	5	100	pA
I <sub>IB</sub>	V <sub>O</sub> = 0	25°C Full range	30	400	10	30	200	7	30	200	30	200	30	200	nA
V <sub>ICR</sub>	Common-mode input voltage range	25°C Full range	-12 to ±11 15	±13.5	±12	-12 to ±11 15	±13.5	±12	-12 to ±11 15	±13.5	±12	-12 to ±11 15	±13.5	±12	V
V <sub>OM</sub>	Maximum peak output voltage swing	25°C Full range	±12	±13.5	±12	±12	±13.5	±12	±12	±13.5	±12	±12	±13.5	±12	V
AVD	Large-signal differential voltage amplification	25°C Full range	25	200	15	50	200	25	50	200	50	200	50	200	V/mV
B <sub>1</sub>	Unity-gain bandwidth	25°C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	MHz
r <sub>i</sub>	Input resistance	25°C	10 <sup>12</sup>			10 <sup>12</sup>			10 <sup>12</sup>			10 <sup>12</sup>			Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	25°C	70	86	70	75	86	75	75	86	75	86	75	86	dB
kSVR	Supply-voltage rejection ratio (ΔV <sub>CC±</sub> /ΔV <sub>IO</sub> )	25°C	70	86	70	80	86	80	80	86	80	86	80	86	dB
I <sub>CC</sub>	Supply current (per amplifier)	25°C	1.4	2.8	1.4	1.4	2.8	1.4	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	mA
V <sub>O1</sub> /V <sub>O2</sub>	Crosstalk attenuation	25°C	120			120			120			120			dB

<sup>†</sup> All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified. Full range for T<sub>A</sub> is 0°C to 70°C for TL08\_C, TL08\_AC, TL08\_BC and -40°C to 85°C for TL08\_I.

<sup>‡</sup> Input bias currents of an FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B**  
**TL084, TL084A, TL084B**  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

electrical characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15$  V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T <sub>A</sub>	TL081M, TL082M			TL084Q, TL084M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V <sub>IO</sub>	Input offset voltage	V <sub>O</sub> = 0, R <sub>S</sub> = 50 Ω	25°C	3	6	3	9	mV	
			Full range		9		15		
α <sub>VIO</sub>	Temperature coefficient of input offset voltage	V <sub>O</sub> = 0, R <sub>S</sub> = 50 Ω	Full range	18		18		μV/°C	
I <sub>IO</sub>	Input offset current‡	V <sub>O</sub> = 0	25°C	5	100	5	100	pA	
			125°C		20		20	nA	
I <sub>IB</sub>	Input bias current‡	V <sub>O</sub> = 0	25°C	30	200	30	200	pA	
			125°C		50		50	nA	
V <sub>ICR</sub>	Common-mode input voltage range		25°C	±11	-12 to 15	±11	-12 to 15	V	
V <sub>OM</sub>	Maximum peak output voltage swing	R <sub>L</sub> = 10 kΩ	25°C	±12	±13.5	±12	±13.5	V	
		R <sub>L</sub> ≥ 10 kΩ	Full range	±12		±12			
		R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ		±10	±12	±10	±12		
A <sub>VD</sub>	Large-signal differential voltage amplification	V <sub>O</sub> = ±10 V, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	25°C	25	200	25	200	V/mV	
		V <sub>O</sub> = ±10 V, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	Full range	15		15			
B <sub>1</sub>	Unity-gain bandwidth		25°C	3		3		MHz	
r <sub>i</sub>	Input resistance		25°C	10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		Ω	
CMRR	Common-mode rejection ratio	V <sub>IC</sub> = V <sub>ICRmin</sub> , V <sub>O</sub> = 0, R <sub>S</sub> = 50 Ω	25°C	80	86	80	86	dB	
k <sub>SVR</sub>	Supply-voltage rejection ratio (ΔV <sub>CC±</sub> /ΔV <sub>IO</sub> )	V <sub>CC</sub> = ±15 V to ±9 V, V <sub>O</sub> = 0, R <sub>S</sub> = 50 Ω	25°C	80	86	80	86	dB	
I <sub>CC</sub>	Supply current (per amplifier)	V <sub>O</sub> = 0, No load	25°C	1.4	2.8	1.4	2.8	mA	
V <sub>O1</sub> /V <sub>O2</sub>	Crosstalk attenuation	A <sub>VD</sub> = 100	25°C	120		120		dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as possible.

operating characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15$  V, T<sub>A</sub> = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Slew rate at unity gain	V <sub>I</sub> = 10 V, R <sub>L</sub> = 2 kΩ, C <sub>L</sub> = 100 pF, See Figure 1		8*	13		V/μs
		V <sub>I</sub> = 10 V, R <sub>L</sub> = 2 kΩ, C <sub>L</sub> = 100 pF, T <sub>A</sub> = -55°C to 125°C, See Figure 1		5*			
t <sub>r</sub>	Rise time	V <sub>I</sub> = 20 mV, R <sub>L</sub> = 2 kΩ, C <sub>L</sub> = 100 pF, See Figure 1			0.05		μs
	Overshoot factor				20		%
V <sub>n</sub>	Equivalent input noise voltage	R <sub>S</sub> = 20 Ω	f = 1 kHz		18		nV/√Hz
			f = 10 Hz to 10 kHz		4		μV
I <sub>n</sub>	Equivalent input noise current	R <sub>S</sub> = 20 Ω	f = 1 kHz		0.01		pA/√Hz
THD	Total harmonic distortion	V <sub>rms</sub> = 6 V, f = 1 kHz	A <sub>VD</sub> = 1, R <sub>S</sub> ≤ 1 kΩ, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ		0.003		%

\*On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

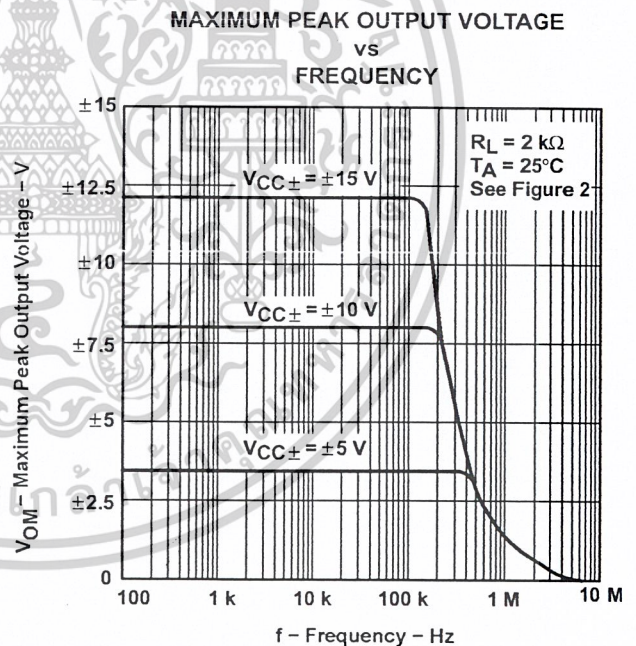
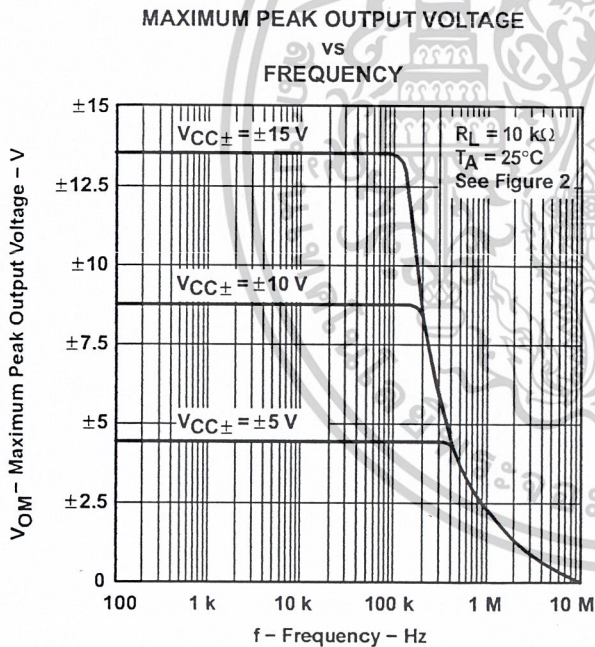


**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B**  
**TL084, TL084A, TL084B**  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

**TYPICAL CHARACTERISTICS**

**Table of Graphs**

		FIGURE
V <sub>OM</sub>	Maximum peak output voltage	vs Frequency
		vs Free-air temperature
		vs Load resistance
		vs Supply voltage
A <sub>VD</sub>	Large-signal differential voltage amplification	vs Free-air temperature
		vs Frequency
	Differential voltage amplification	vs Frequency with feed-forward compensation
P <sub>D</sub>	Total power dissipation	vs Free-air temperature
I <sub>CC</sub>	Supply current	vs Free-air temperature
		vs Supply voltage
I <sub>B</sub>	Input bias current	vs Free-air temperature
		Large-signal pulse response
V <sub>O</sub>	Output voltage	vs Elapsed time
CMRR	Common-mode rejection ratio	vs Free-air temperature
V <sub>n</sub>	Equivalent input noise voltage	vs Frequency
THD	Total harmonic distortion	vs Frequency

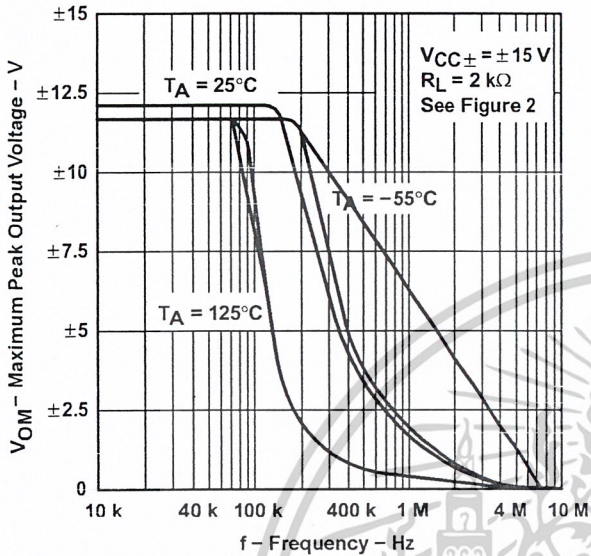


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
TL084, TL084A, TL084B  
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

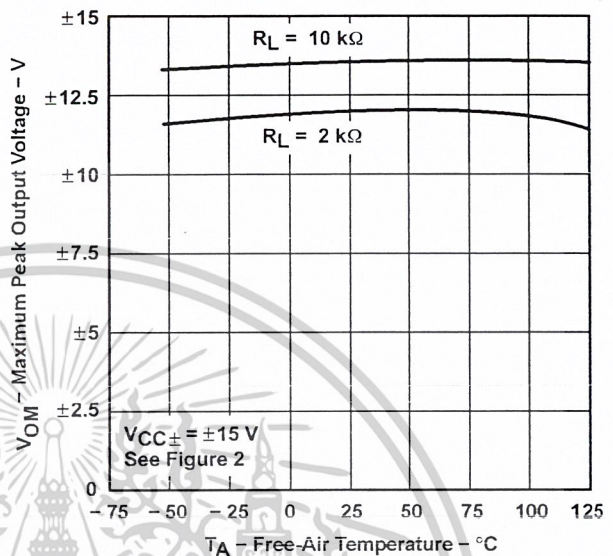
**TYPICAL CHARACTERISTICS†**

**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE  
vs  
FREQUENCY**



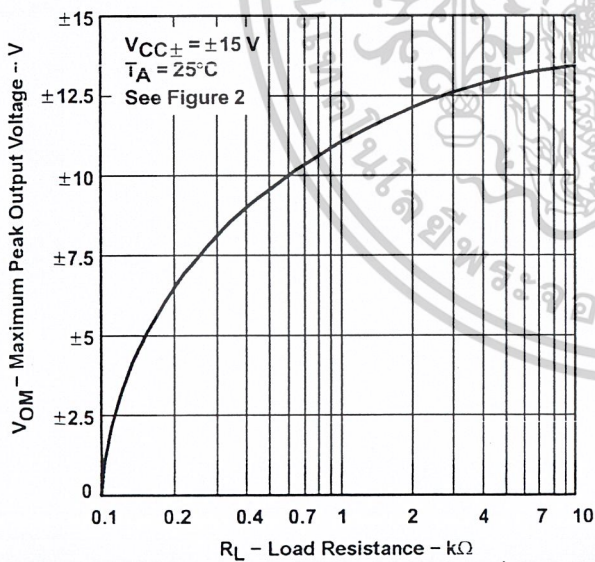
**Figure 7**

**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE  
vs  
FREE-AIR TEMPERATURE**



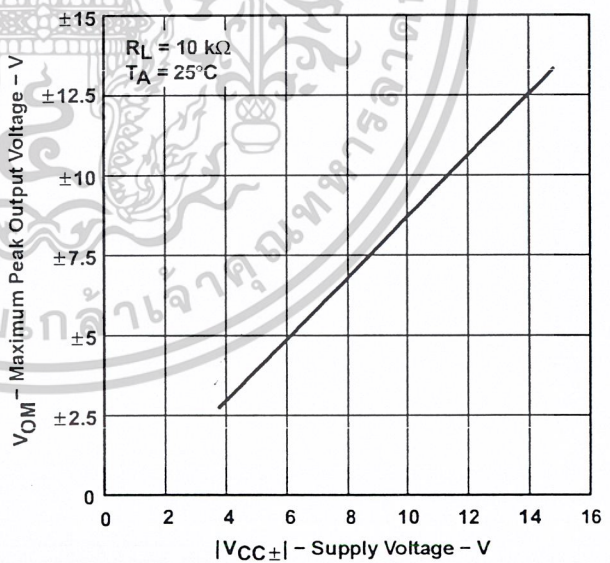
**Figure 8**

**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE  
vs  
LOAD RESISTANCE**



**Figure 9**

**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE  
vs  
SUPPLY VOLTAGE**



**Figure 10**

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
 TL084, TL084A, TL084B  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

**TYPICAL CHARACTERISTICS†**

**LARGE-SIGNAL  
 DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION  
 vs  
 FREE-AIR TEMPERATURE**

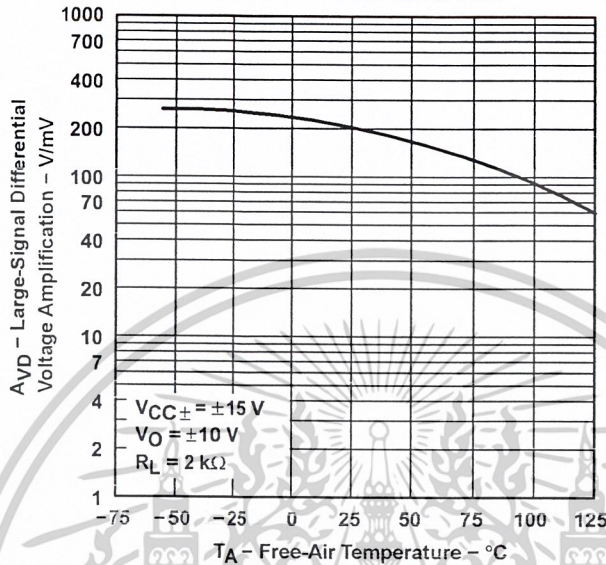


Figure 11

**LARGE-SIGNAL  
 DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION  
 vs  
 FREQUENCY**

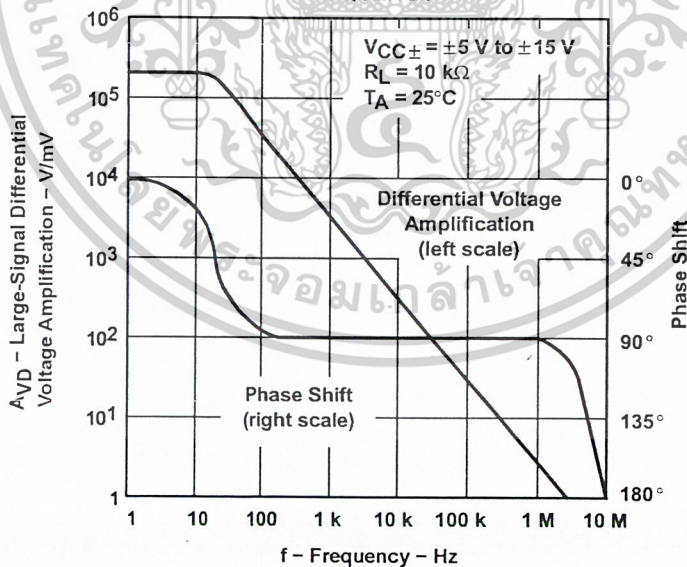


Figure 12

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B**  
**TL084, TL084A, TL084B**  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

**TYPICAL CHARACTERISTICS†**

**DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION**  
 vs  
**FREQUENCY WITH FEED-FORWARD COMPENSATION**

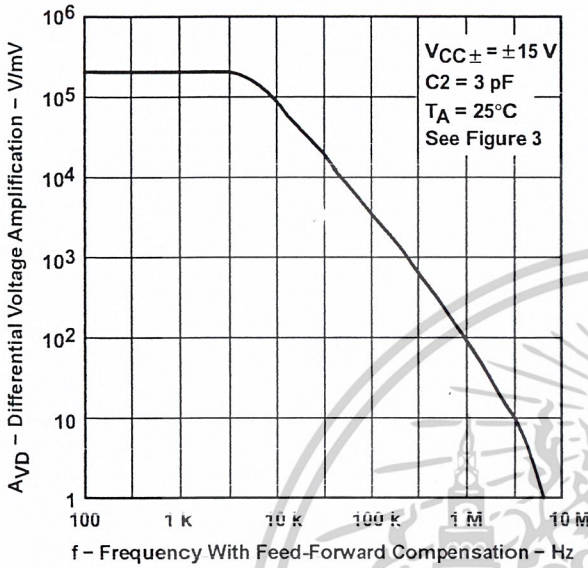


Figure 13

**TOTAL POWER DISSIPATION**  
 vs  
**FREE-AIR TEMPERATURE**

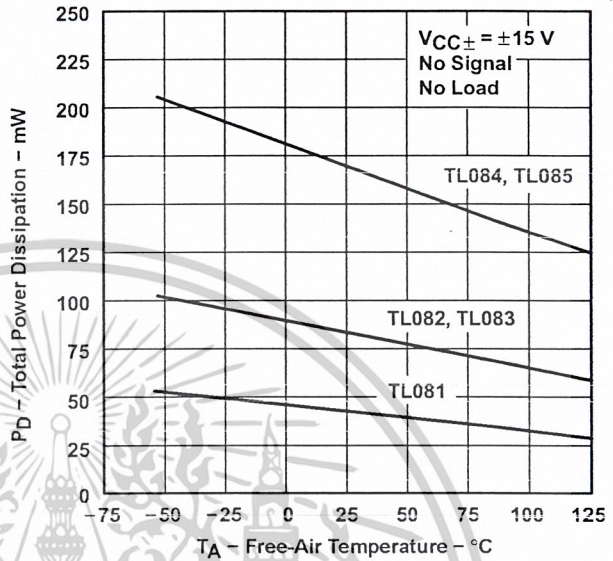


Figure 14

**SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER**  
 vs  
**FREE-AIR TEMPERATURE**

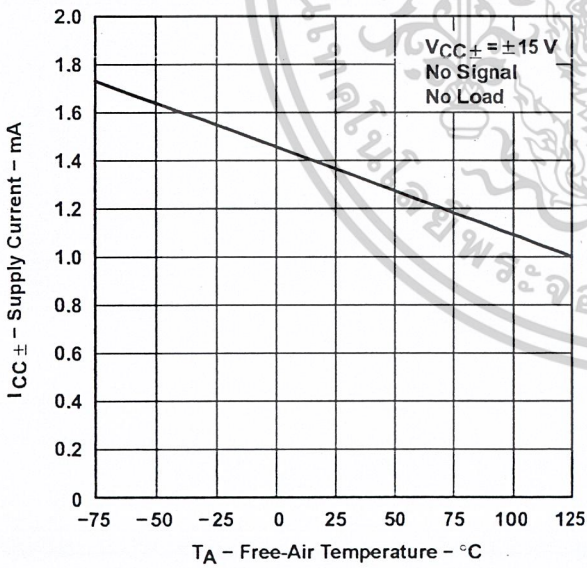


Figure 15

**SUPPLY CURRENT**  
 vs  
**SUPPLY VOLTAGE**

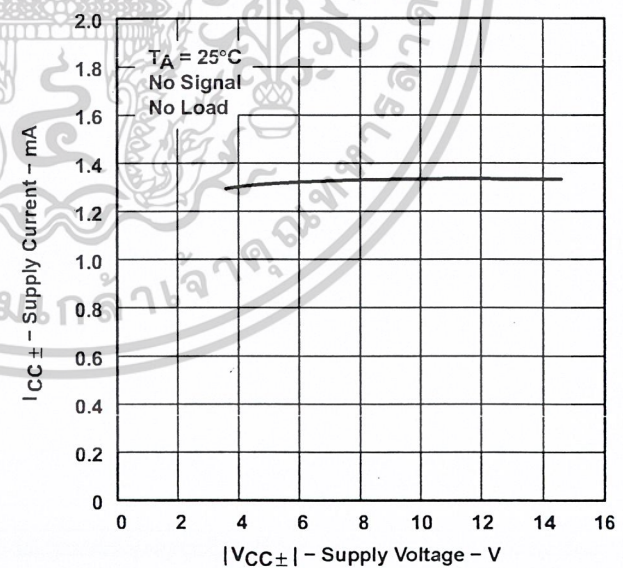


Figure 16

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
 TL084, TL084A, TL084B  
**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

TYPICAL CHARACTERISTICS†

INPUT BIAS CURRENT  
 vs  
 FREE-AIR TEMPERATURE

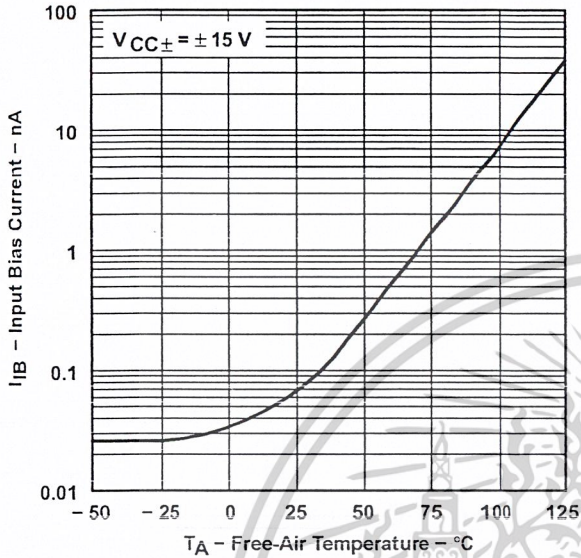


Figure 17

VOLTAGE-FOLLOWER  
 LARGE-SIGNAL PULSE RESPONSE

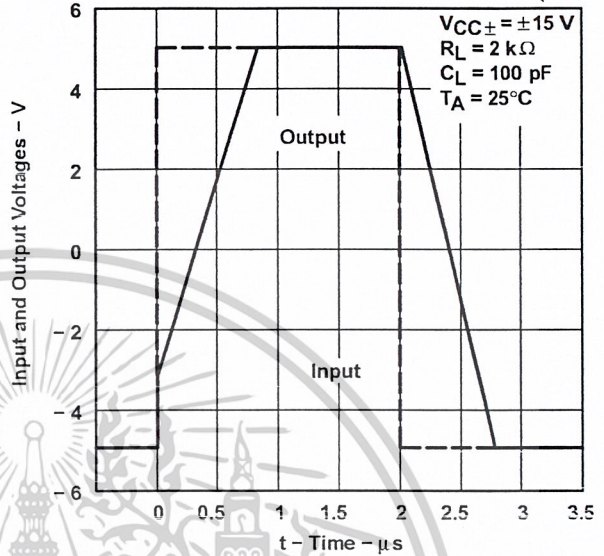


Figure 18

OUTPUT VOLTAGE  
 vs  
 ELAPSED TIME

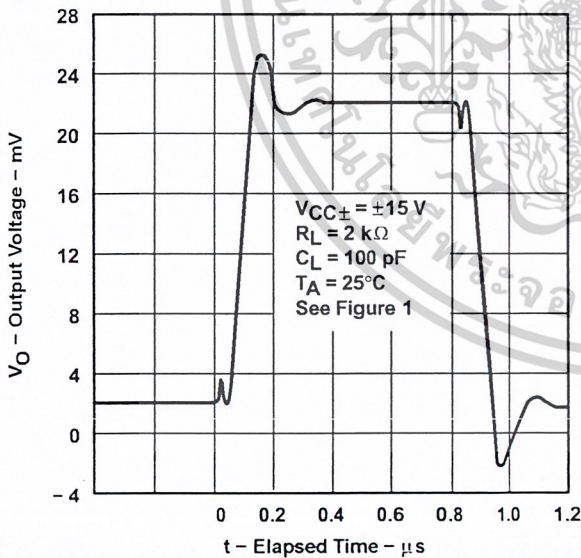


Figure 19

COMMON-MODE REJECTION RATIO  
 vs  
 FREE-AIR TEMPERATURE

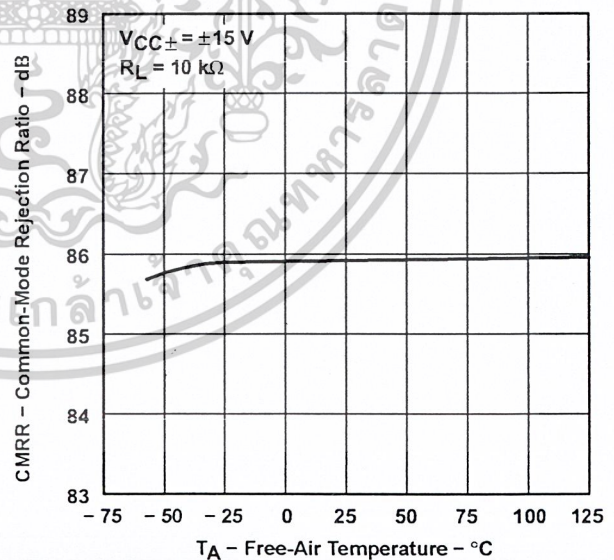


Figure 20

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

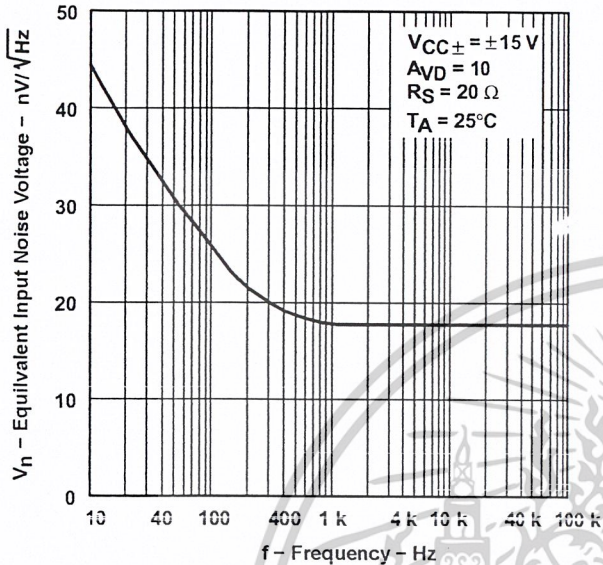


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
TL084, TL084A, TL084B  
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

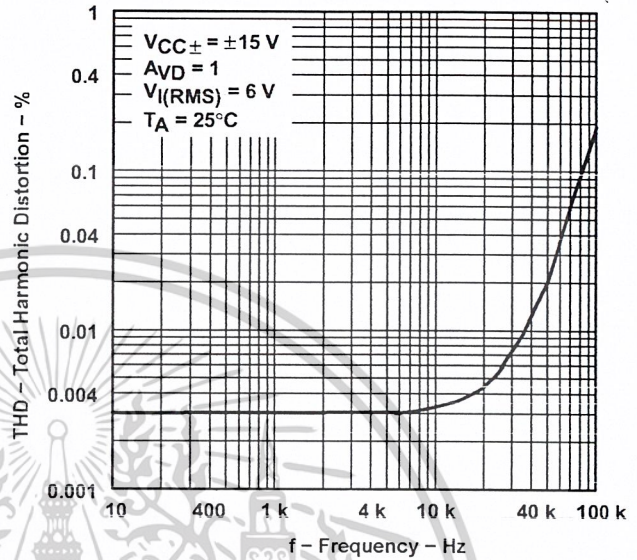
**TYPICAL CHARACTERISTICS†**

**EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE  
vs  
FREQUENCY**



**Figure 21**

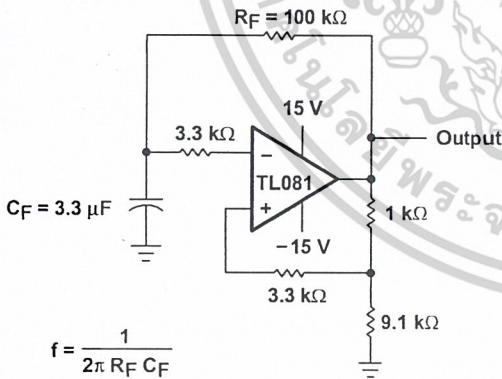
**TOTAL HARMONIC DISTORTION  
vs  
FREQUENCY**



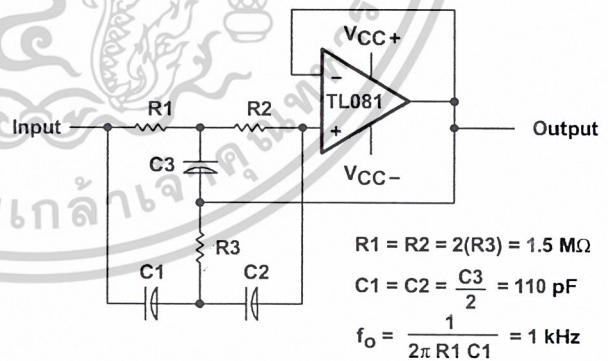
**Figure 22**

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

**APPLICATION INFORMATION**



**Figure 23**



**Figure 24**

$$R1 = R2 = 2(R3) = 1.5 \text{ M}\Omega$$

$$C1 = C2 = \frac{C3}{2} = 110 \text{ pF}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi R1 C1} = 1 \text{ kHz}$$



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APPLICATION INFORMATION**

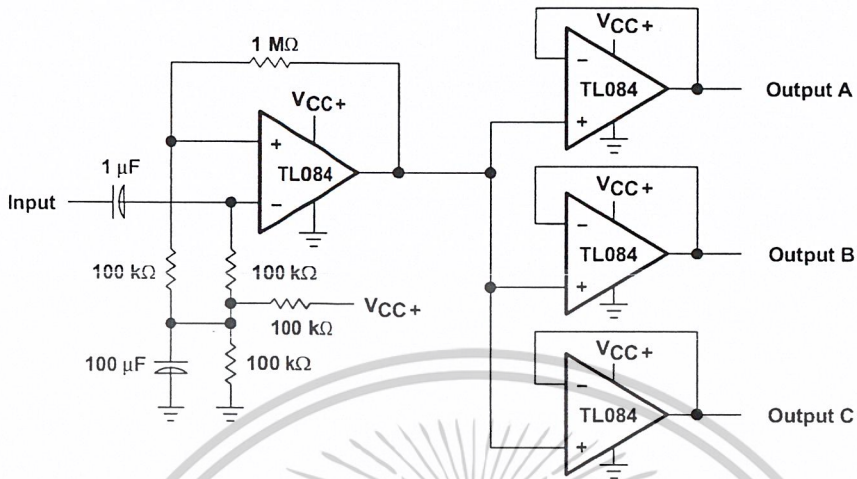
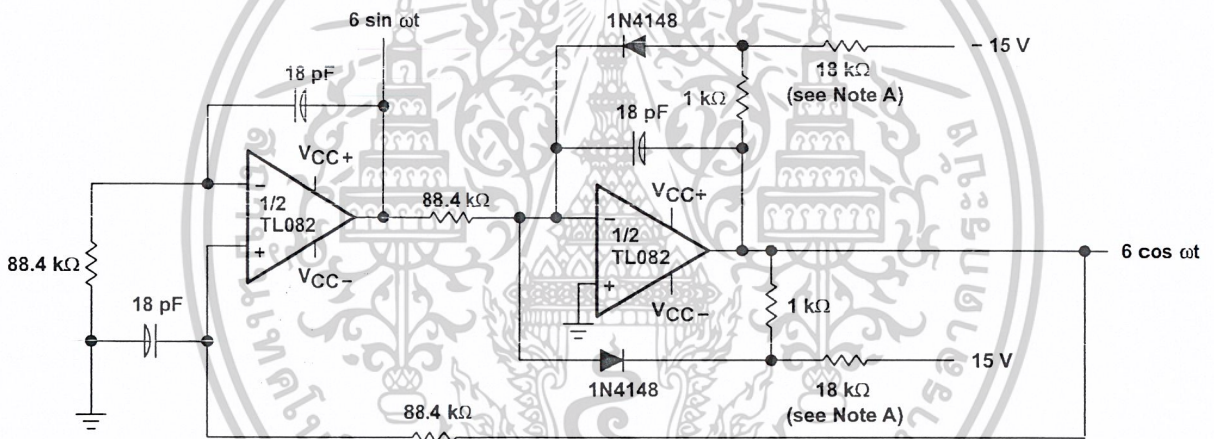


Figure 25. Audio-Distribution Amplifier

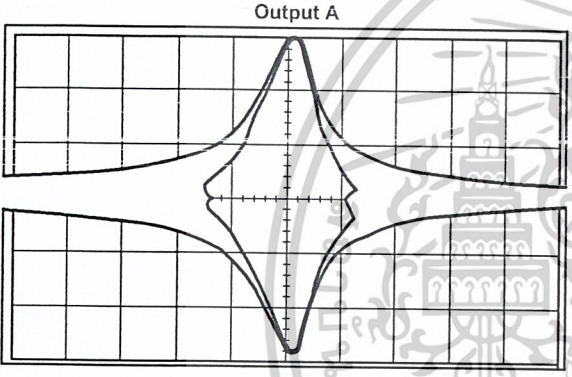
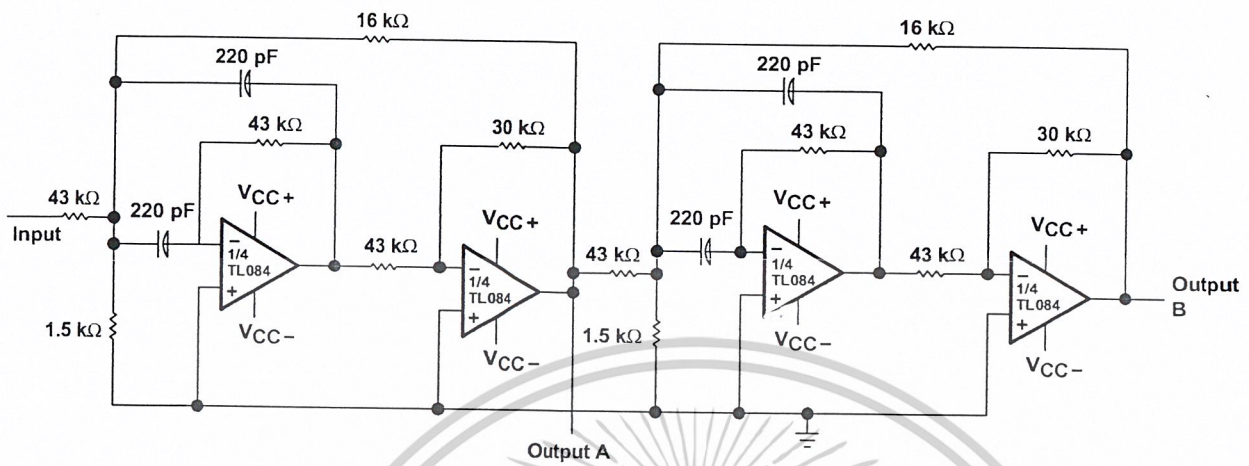


NOTE A: These resistor values may be adjusted for a symmetrical output.

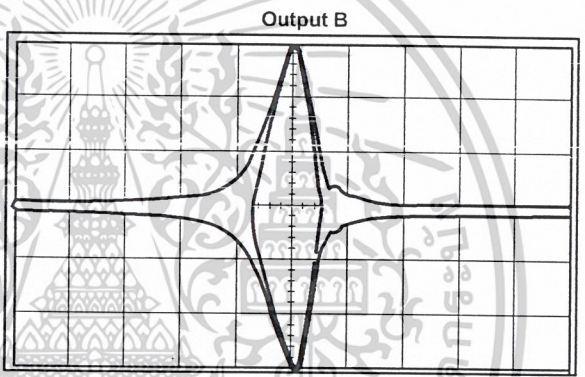
Figure 26. 100-KHz Quadrature Oscillator

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B  
TL084, TL084A, TL084B  
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

**APPLICATION INFORMATION**



2 kHz/div  
Second-Order Bandpass Filter  
 $f_o = 100 \text{ kHz}$ ,  $Q = 30$ ,  $GAIN = 4$



2 kHz/div  
Cascaded Bandpass Filter  
 $f_o = 100 \text{ kHz}$ ,  $Q = 69$ ,  $GAIN = 16$

**Figure 27. Positive-Feedback Bandpass Filter**



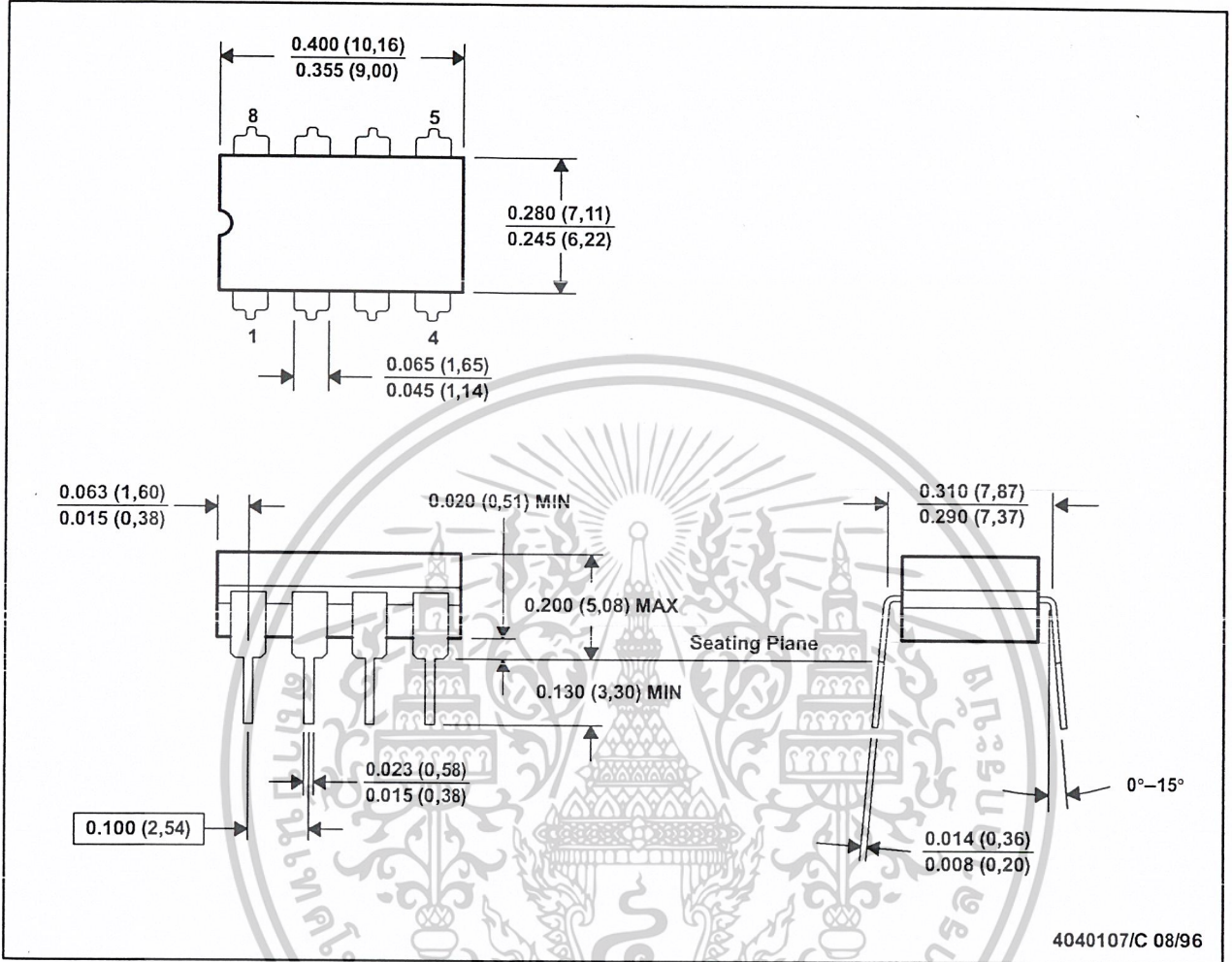
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MECHANICAL DATA

MCER001A – JANUARY 1995 – REVISED JANUARY 1997

JG (R-GDIP-T8)

CERAMIC DUAL-IN-LINE



4040107/C 08/96

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. This package can be hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
  - D. Index point is provided on cap for terminal identification.
  - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T8

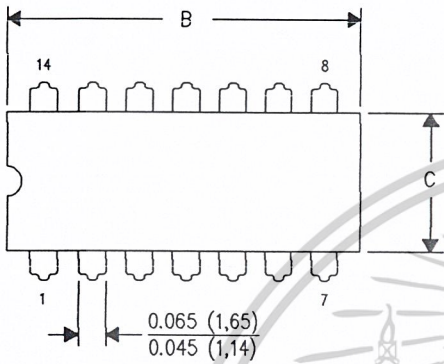


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

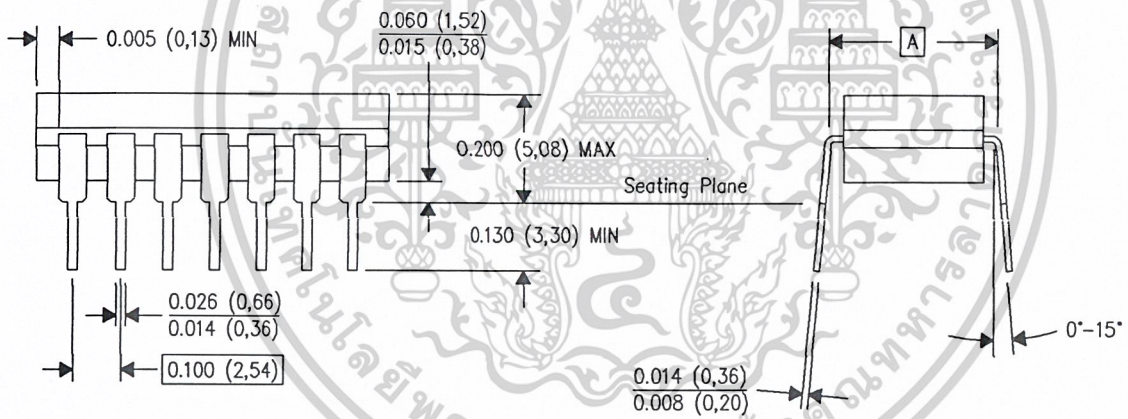
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J (R-GDIP-T\*\*)  
14 LEADS SHOWN

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE



DIM \ PINS **	14	16	18	20
A	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC
B MAX	0.785 (19,94)	.84 <sup>^</sup> (21,34)	0.960 (24,38)	1.060 (26,92)
B MIN	—	—	—	—
C MAX	0.300 (7,62)	0.300 (7,62)	0.310 (7,87)	0.300 (7,62)
C MIN	0.245 (6,22)	0.245 (6,22)	0.220 (5,59)	0.245 (6,22)



4040083/F 03/03

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
  - D. Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
  - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T14, GDIP1-T16, GDIP1-T18 and GDIP1-T20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

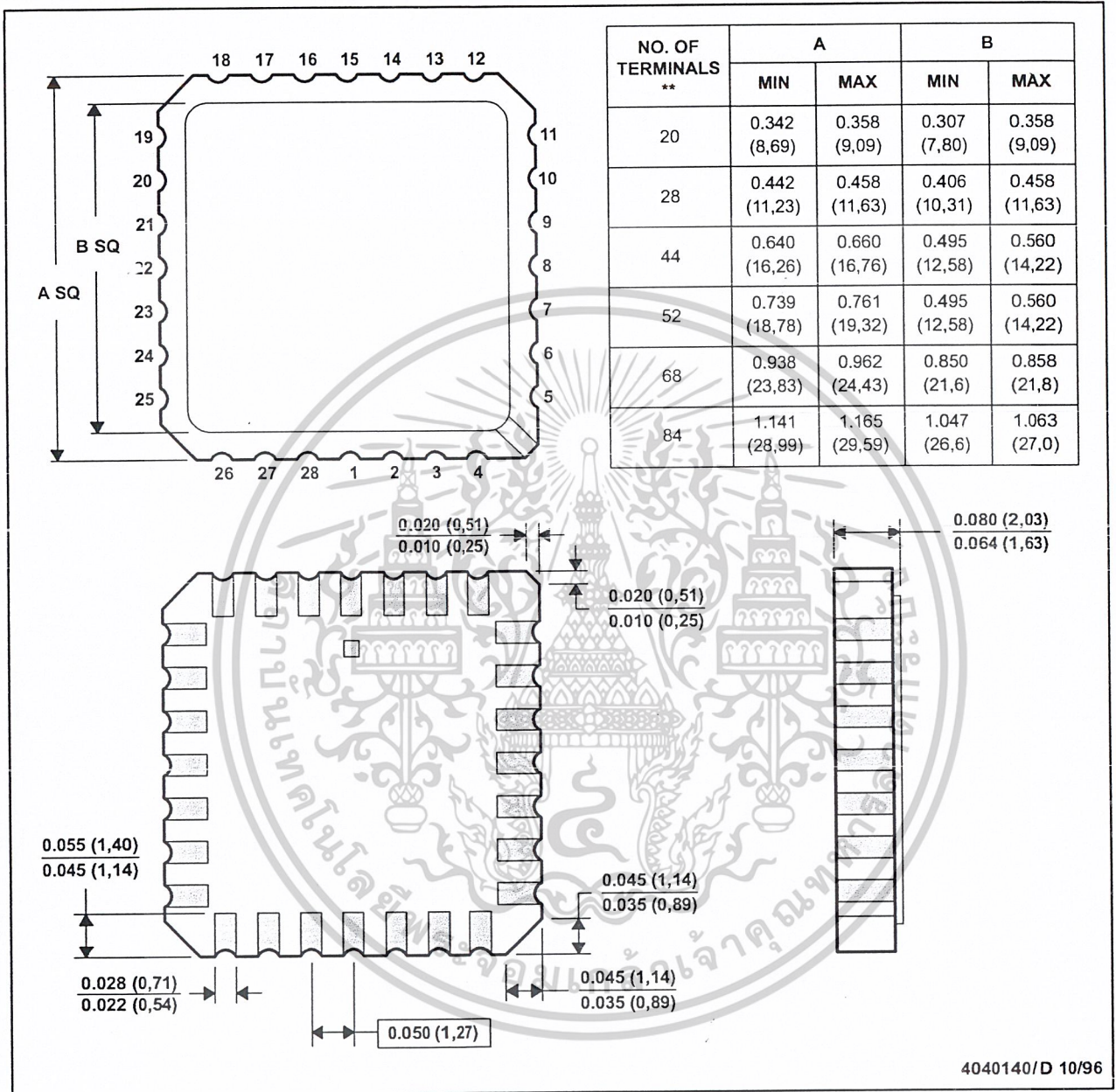
# MECHANICAL DATA

MLCC006B – OCTOBER 1996

FK (S-CQCC-N\*\*)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN



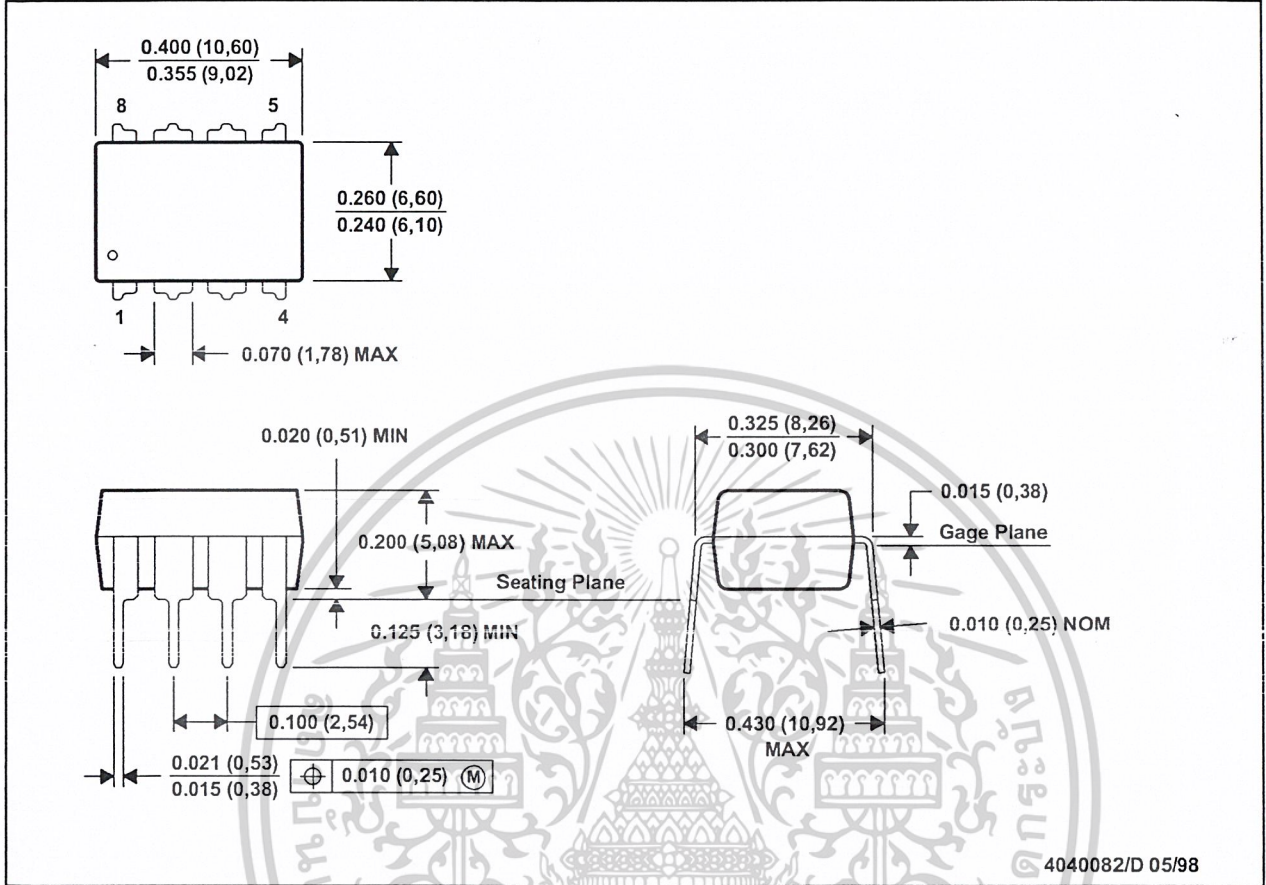
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.
  - D. The terminals are gold plated.
  - E. Falls within JEDEC MS-004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในบริษัท Texas Instruments เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. Falls within JEDEC MS-001

For the latest package information, go to [http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg\\_info.htm](http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg_info.htm)



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

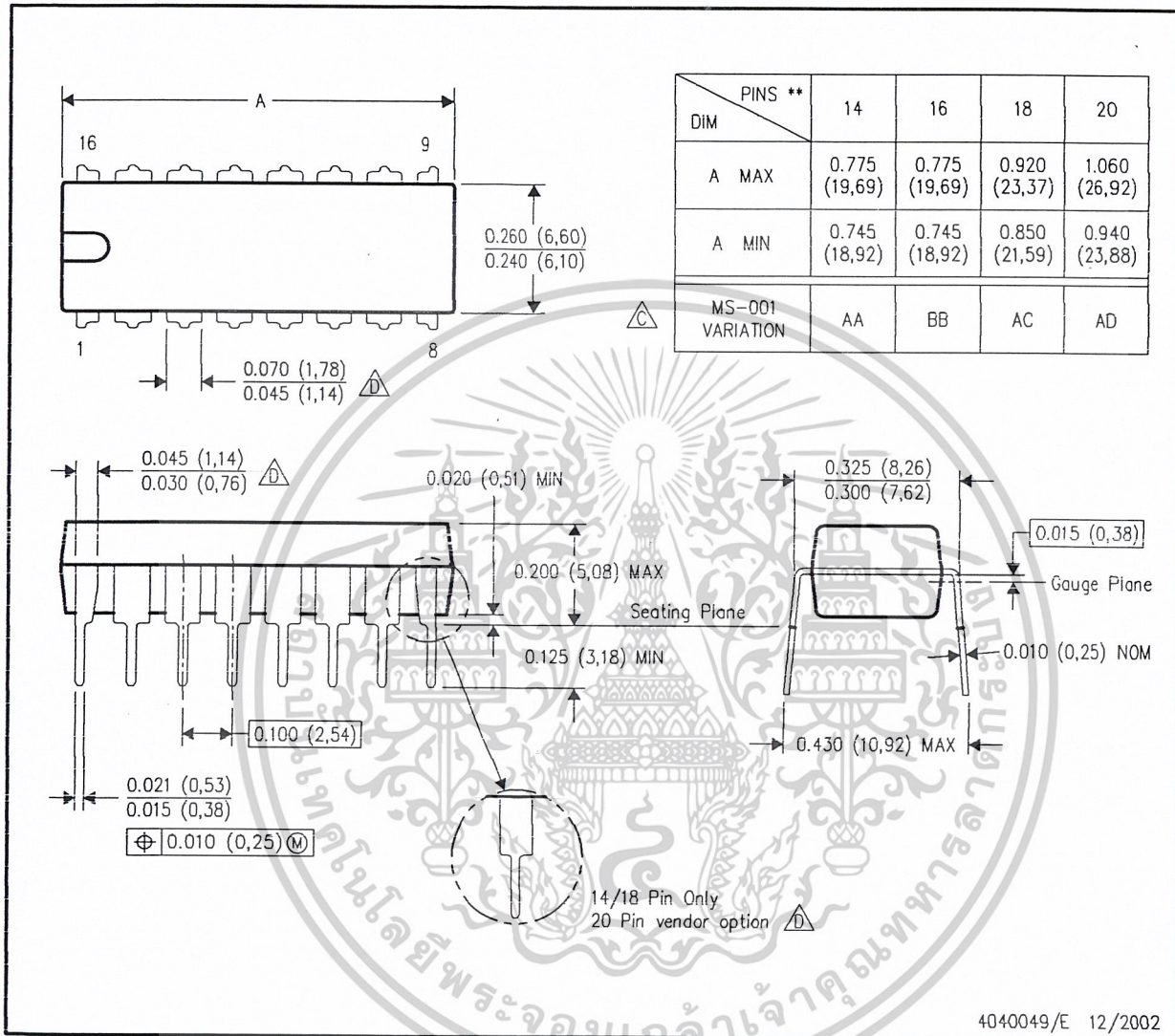
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MECHANICAL DATA

## N (R-PDIP-T\*\*)

## PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN



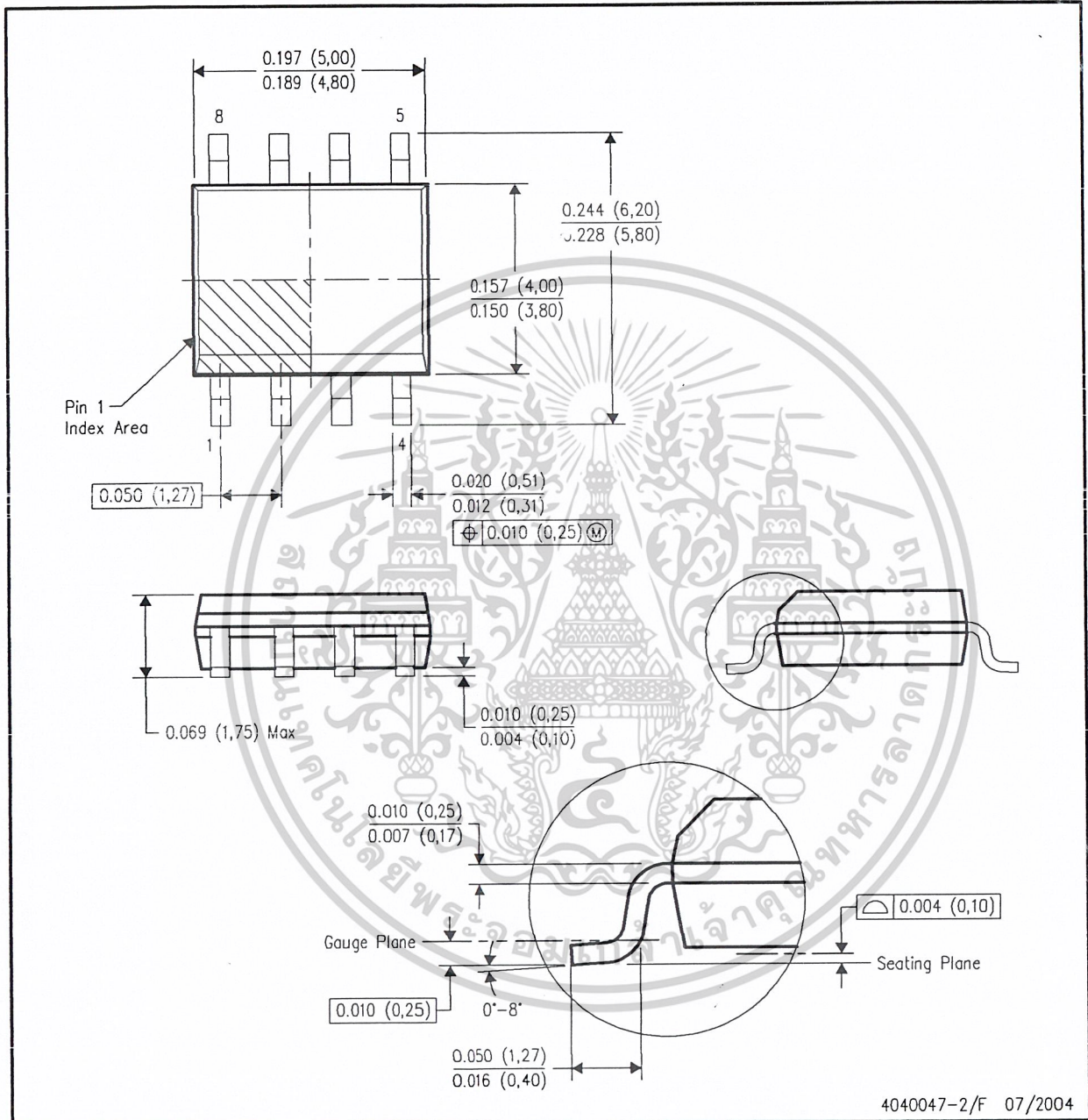
4040049/E 12/2002

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
  - The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.



D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

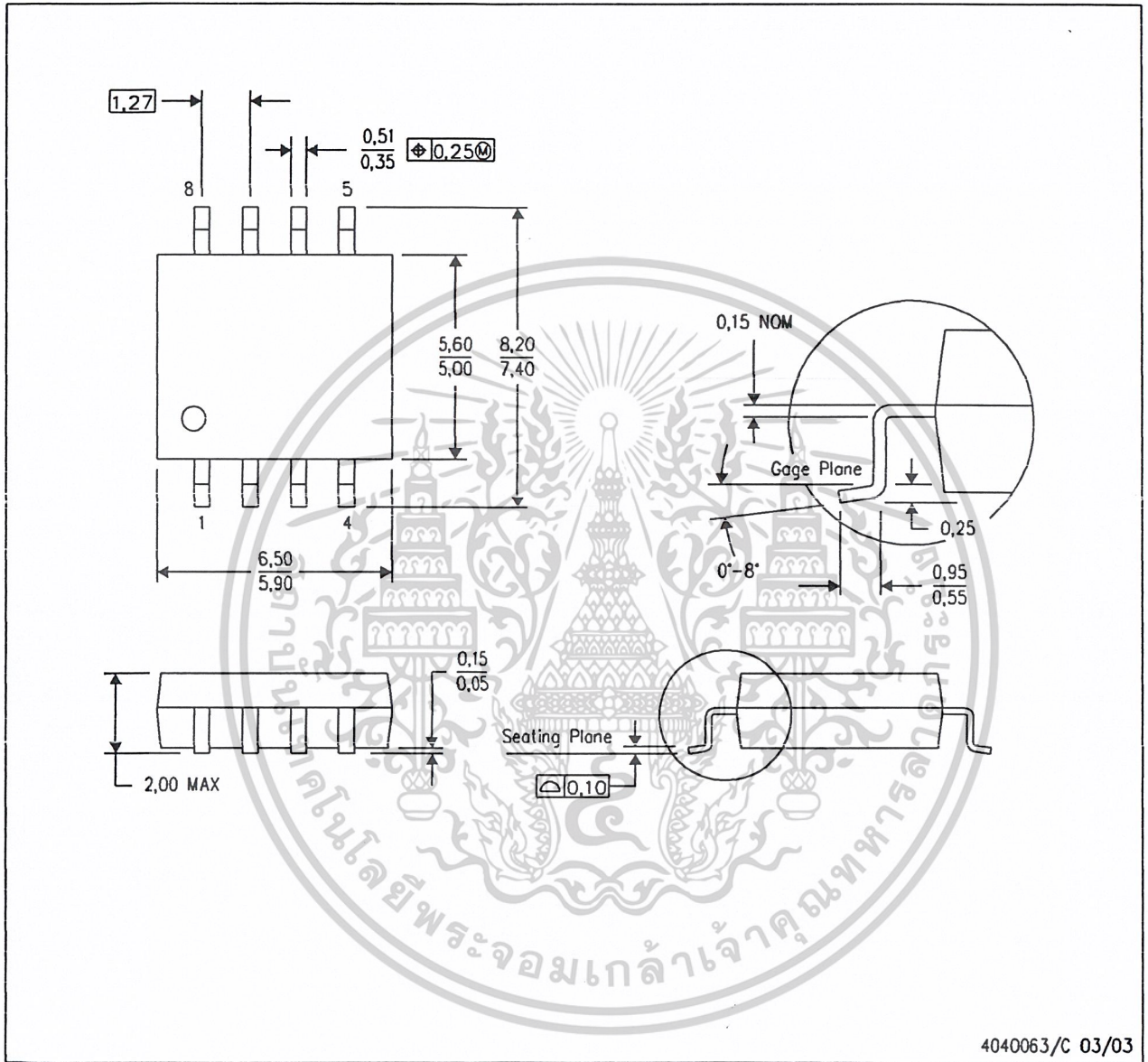


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - D. Falls within JEDEC MS-012 variation AA.

MECHANICAL DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

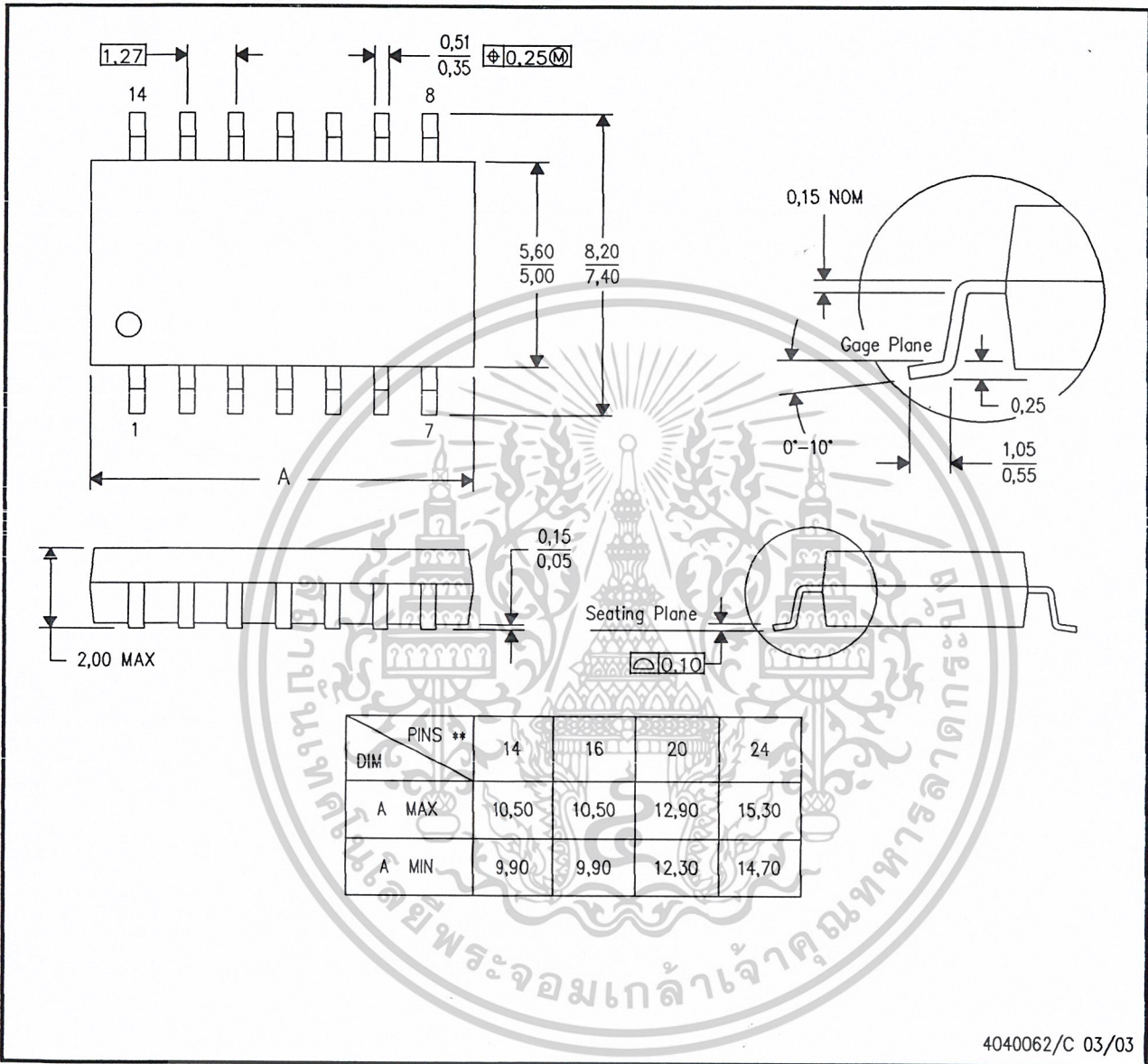


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MECHANICAL DATA

**NS (R-PDSO-G\*\*)**  
14-PINS SHOWN

**PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE**



4040062/C 03/03

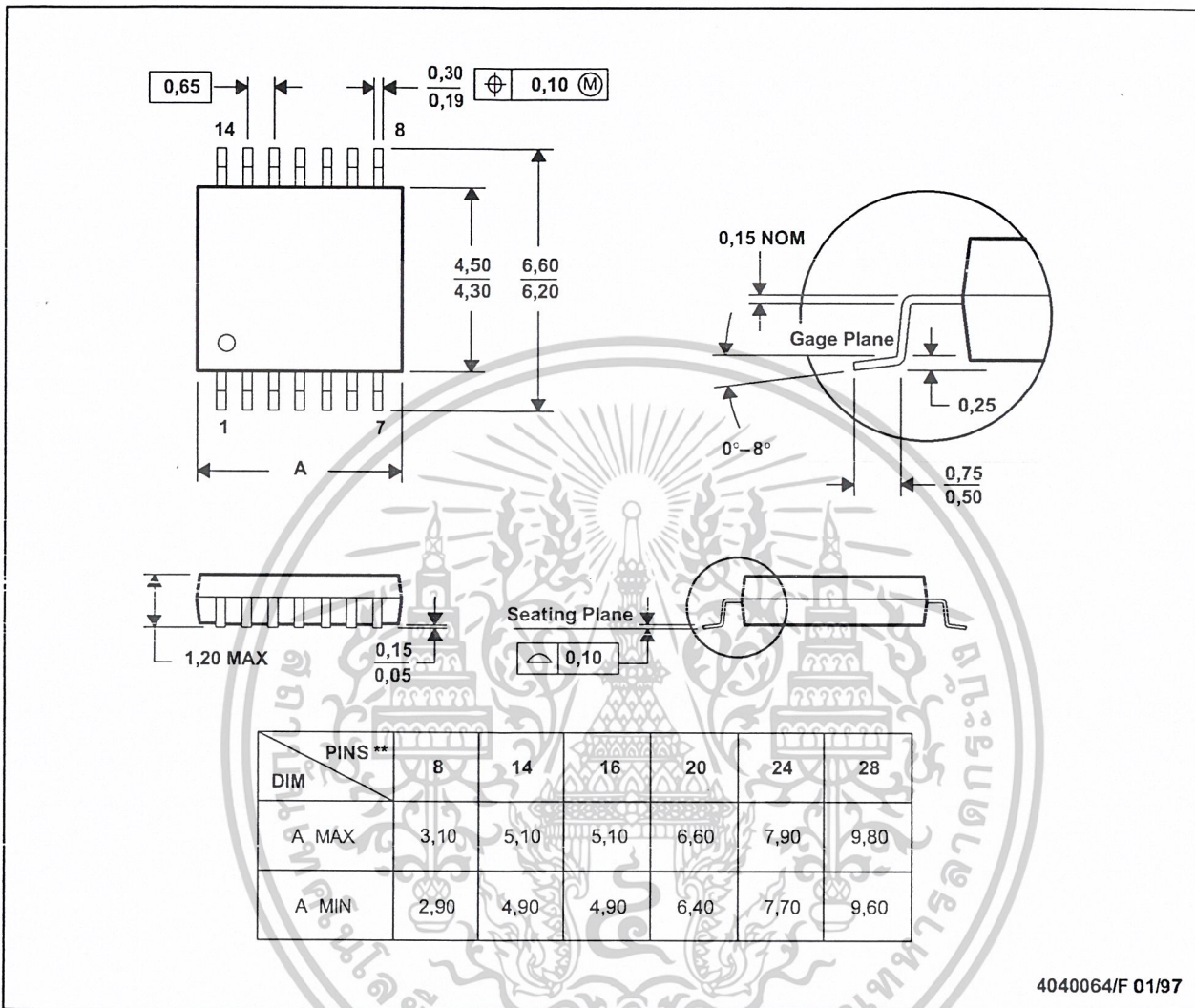
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PW (R-PDSO-G\*\*) 14 PINS SHOWN

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040064/F 01/97

- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.  
 D. Falls within JEDEC MO-153



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถพล บุญยะโกคา, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลี้มพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม ”
- [2] รศ.ดร.มนัส สัจจวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, “คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์”
- [3] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลี้มพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”
- [4] ตัจจะ จรัสรุ่งรวีวร, จักรพงษ์ สุขประเสริฐ, “เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 7 ฉบับสมบูรณ์”
- [5] Peter Vas, “Parameter Estimation, Condition Monitoring and D.Diagnosis of Electrical Machine”
- [6] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, “Electric Machine” sixth edition in SI unit, McGRAW - HILL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้