

การพัฒนาระบบสร้างภาพด้วยอัลตราโซนิกแบบซี-สแกน  
DEVELOPMENT OF ULTRASONIC C-SCAN IMAGING SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การพัฒนาระบบสร้างภาพด้วยอัลตราโซนิกแบบซี-สแกน  
DEVELOPMENT OF ULTRASONIC C-SCAN IMAGING SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **ปีการศึกษา 2557** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DEVELOPMENT OF ULTRASONIC C-SCAN IMAGING SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในภาคการศึกษาปี 2014 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบสร้างภาพด้วยอัลตราโซนิกแบบซี-สแกน  
 DEVELOPMENT OF ULTRASONIC C-SCAN IMAGING SYSTEM.  
 ชื่อนักศึกษา นายศุภสิทธิ์ หวง รหัสนักศึกษา 54050605  
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ภาควิชา ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา 2557  
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วราวุฒิ เถาlátดา  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ	พิชานันท์ ธี.
อ.สุรชาติ กมลติลก	สุรชาติ กมลติลก.
อ.ธนภรณ์ สิวาพัฒนานนท์	ธนภรณ์ สิวาพัฒนานนท์
รศ.ดร.วราวุฒิ เถาlátดา	วราวุฒิ เถาlátดา
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี	ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบสร้างภาพด้วยอัลตราโซนิกแบบซี-สแกน  
ชื่อนักศึกษา นายศุภสิทธิ์ หวง รหัสนักศึกษา 54050605  
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
ภาควิชา ฟิสิกส์  
ปีการศึกษา 2557  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบและศึกษาการถ่ายภาพด้วยคลื่นอัลตราโซนิกแบบซีสแกน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ศึกษาการตรวจสอบพื้นผิววัตถุโดยไม่ทำลาย ระบบที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการวัดขนาดแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนกลับเนื่องจากความแตกต่างของอิมพีแดนซ์ของเสียงภายในเนื้อวัตถุที่แต่ละตำแหน่งตามแนวระนาบ  $X - Y$  ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณจะถูกแปลงเป็นข้อมูลนาฬิกาและถูกบันทึกลงบนคอมพิวเตอร์ และมีการแสดงผลผ่านหน้าจอแบบตำแหน่งต่อตำแหน่ง โดยเป็นภาพสี และมีแฟ้มข้อมูลไว้สำหรับเก็บข้อมูลดิบแต่ละครั้งที่ทำการสแกนซึ่งสามารถนำไปแปลงเป็นภาพได้อีกที

คำสำคัญ : อิมพีแดนซ์ของเสียง , อัลตราโซนิกแบบซี-สแกน , แอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลกต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title DEVELOPMENT OF ULTRASONIC C-SCAN IMAGING SYSTEM  
Students Mr.Supasit Huang Student ID 54050605  
Degree Bachelor of Science in Applied Physics  
Department Physics  
Academic Year 2014  
Advisor Assoc.Prof.Dr. Warawoot Thowladda  
Co-Advisor Dr.S.Tipawan Khlayboonme

## ABSTRACT

The special project is the development and studies photography with ultrasonic C-scan Imaging for apply to the inspection surface without destroy. The system created the basis to measure amplifier tuning of wave reflection due to the difference of Impedance of sound inside the object at each position along the plane X – Y. Quantity of amplitude of signals are converted to analog information and stored on the computer. The display screen is positioned on the painting and Data files for storing raw data each scan, which can be converted to another image.

**Keywords :** Ultrasonic C – scan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.วรารุณี เถาถัดดาที่คอยชี้แนะ แก้ไขในสิ่งที่ผิดจนลูกศิษย์เข้าใจในสิ่งที่ถูกรวมทั้งสอนให้รู้จักการพยายามและอดทนในการทำงาน

ขอขอบคุณ ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงาน พร้อมทั้งแนวทางในการแก้ปัญหา รวมถึงตรวจข้อผิดพลาดของเนื้อหารูปเล่มโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำการทำรายงานเล่มนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการ ที่คอยบอกข่าวสารและให้ความช่วยเหลือ  
สุดท้ายขอขอบคุณ มารดา และครอบครัวที่ได้อุปการะค่าใช้งานในการเรียนรวมทั้งเข้าใจการทำงานเป็นอย่างดีจึงขอกล่าวขอบพระคุณท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นายศุภสิทธิ์ หวง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 ชนิดของคลื่น	3
2.2 ส่วนประกอบของคลื่น	4
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวของคลื่น	4
2.2.2 เฟสของคลื่น	5
2.3 สมบัติของคลื่น	6
2.3.1 การสะท้อนของคลื่น	6
2.3.2 การหักเหของคลื่น	6
2.3.3 การแทรกสอดของคลื่น	9
2.3.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น	10
2.4 ธรรมชาติของเสียง	10
2.5 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง	10
2.7 ระบบอัลตราโซนิก(Ultrasonic)	12
2.8 ตัวส่งและตัวรับ	14
2.9 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ	15
2.10 ปรากฏการณ์ Piezoelectricity	15
2.11 สเต็ปมอเตอร์(STEPPING MOTOR)	17
2.11.1 ชนิดและโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์	18
2.12 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลงต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	21
3.1 อุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์	21
3.1.1 แทนสแกน X-Y	21
3.1.2 Driver Step Motor 5 Phase	22
3.1.3 Dc Power Supply	22
3.1.4 Controller	23
3.1.5 วงจรรีเลย์	23
3.2 Flow Chat ของส่วนคอนโทรลเลอร์	28
3.3 อุปกรณ์ควบคุมระบบอัลตราโซนิก	25
3.3.1Pulser – Receiver	25
3.3.2 GATED PEAK DETECTOR	25
3.3.3 MULTIMETER	26
3.3.4 Digital Oscilloscope	26
3.3.5 อัลตราโซนิกโพรบ	27
3.4 โปรแกรมที่ใช้พัฒนาโครงงานพิเศษ	28
3.4.1 Arduino	28
3.4.2 Visual Basic	28
3.5 Flow Chat ของส่วนโปรแกรม	29
3.6 วิธีต่อระบบอัลตราโซนิก ซี – สแกน	30
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	31
4.1 ทหาระยะไฟฟ้าของอัลตราโซนิกโพรบ	31
4.2 ทดลองถ่ายภาพด้วยอัลตราโซนิกซี – สแกน	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	39
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลจต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
2.1 อัตราเร็วของเสียงที่ตัวกลางต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ	11
2.2 มุมของโรเตอร์เทียบกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแก่เฟสต่างๆ 8 ตำแหน่ง	19
3.1 คุณสมบัติของอัลตราโซนิคโพรบ	27
4.1 ระยะห่างระหว่างโพรบถึงชิ้นงาน(มม.) กับ ค่า แอมพลิจูด(mVpp)	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คลื่นตามยาวในสปริง	3
2.2 รูปคลื่นตามขวางในสปริง	3
2.3 ส่วนประกอบของคลื่น	4
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรเดียนกับองศา	5
2.5 ตำแหน่งต่างๆบนคลื่นรูปไซน์	5
2.6 การเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน	6
2.7 (ก) คลื่นเดินทางจากตัวกลางที่โปร่งไปยังตัวกลางที่ทึบกว่า	7
2.7 (ข) คลื่นเดินทางจากตัวกลางที่ทึบไปยังตัวกลางที่โปร่งกว่า	7
2.8 ภาพขยายของรูปที่ 2.7(ก)	8
2.9 การแทรกสอดของคลื่นน้ำที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่ง คือ $S_1$ และ $S_2$	9
2.10 คลื่นเลี้ยวเบนออกจากสลิตเดี่ยว	10
2.11 (ก) โครงสร้างภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก	13
2.11 (ข) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิกโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียง	13
2.12 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆกัน	14
2.13 ลักษณะลำคลื่นไฟกัสอัลตราโซนิก	17
2.14 สเต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น	18
2.15 (ก) โครงสร้าง	19
2.15 (ข) วงจรเทียบเท่า(equivalent circuit)	19
2.16 แสดงวิธีขับเอาท์พุทของสเต็ปมอเตอร์	20
3.1 สเต็ปมอเตอร์ 5 เฟสที่ติดบนพ่นจับ	21
3.2 วงจรภายในสเต็ปมอเตอร์ 5 เฟส แบบ pentagon	21
3.3 วงจรขับ Stepping Motor 5 phase	22
3.4 Switching power supply	22
3.5 Controller ET-EASY STAM 128	23
3.6 วงจรรีเลย์	23
3.7 PULSER/RECEIVER MODEL 5072 PR	25
3.8 GATED PEAK DETECTOR MODEL 560	25
3.9 Digital Multimeter รุ่น 34401A	26
3.10 DIGITAL OSCILLOSCOPE รุ่น DS1052D	26
3.11 อัลตราโซนิกโพรบ รุ่น V310-N-SU	27
3.12 ตัวอย่างโปรแกรม Arduino	28
3.13 ตัวอย่างโปรแกรม Visual Basic	28
3.14 ระบบอัลตราโซนิกซี-สแกน	30
4.1 แสดงแอมพลิจูดที่ความสูงช่วงต่างๆในแนวแกน Z	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างโพรบถึงชิ้นงาน(มม.) กับ แอมพลิจูด(mVpp)	34
4.3 ตัวอย่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	34
4.4 ภาพเหรียญ 5 บาทจริงก่อนทำการสแกน	35
4.5 ภาพที่สแกนโดยใช้ความละเอียด 0.2 มม.	35
4.6 ภาพความละเอียด 0.2 มม. ที่ผ่านการ Smooth ภาพ ด้วยโปรแกรม Matlab	36
4.7 ภาพที่สแกนโดยใช้ความละเอียด 0.15 มม.	36
4.8 ภาพความละเอียดที่ 0.15 มม. ที่ผ่านการ Smooth ภาพด้วยโปรแกรม Matlab	37
4.9 ภาพความละเอียดที่ 0.3 มม.	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันการทดสอบวัสดุด้วยเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ได้เข้ามามีบทบาทในแวดวงอุตสาหกรรมการผลิตโลหะและวัสดุ แทนที่การตรวจสอบแบบดั้งเดิมซึ่งต้องทำลายชิ้นงานก่อนจะทำการทดสอบ หรือ เมื่อทดสอบเสร็จก็อาจทำให้วัสดุหรือชิ้นงานนั้นๆเกิดความเสียหาย นักวิทยาศาสตร์และนักเทคโนโลยีจึงได้พยายามคิดค้น และเสาะหาแนวทางในการตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลายชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำความรู้ทางฟิสิกส์ รวมถึงปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์เข้ามาใช้ซึ่ง การตรวจสอบแบบไม่ทำลายเป็นการตรวจสอบที่มีระบบบางระบบเป็นแบบอัตโนมัติทำให้ผู้วิจัยจึงคิดจัดทำชุดสแกนระบบ X-Y ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบแบบต่างๆ รวมถึงการตรวจสอบแบบอัลตราโซนิก

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเรียนรู้และเข้าใจถึงวิธีการนำเอาความรู้ทางฟิสิกส์ของคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้สร้างเครื่องมือและระบบวัด
2. เพื่อจัดทำชุดทดลองที่มีราคาถูกใหม่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำการสร้างเครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้สแกนในระนาบ X-Y เพื่อนำมาใช้งานในระบบอัลตราโซนิกซี - สแกน

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 แผนดำเนินงานสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนดังนี้
  - ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาวงจรการขับมอเตอร์ และ โปรแกรม Visual Basic
  - ขั้นตอนที่ 2 สร้างวงจรขับสเตปป์มอเตอร์
  - ขั้นตอนที่ 3 สร้างชุดสแกน X-Y
  - ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบระบบอัลตราโซนิก ซี-สแกน
  - ขั้นตอนที่ 5 สรุปโครงการพิเศษ

#### 1.4.2 ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

เดือน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ขั้นตอนที่1									
ขั้นตอนที่2									
ขั้นตอนที่3									
ขั้นตอนที่4									
ขั้นตอนที่5									

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการของอัลตราโซนิก ซี-สแกน
2. มีระบบอัลตราโซนิก ซี-สแกน ที่ควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการตรวจสอบของอัลตราโซนิกเป็นการตรวจจับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุ เราจึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของคลื่นก่อนที่จะทำการเรียนรู้คลื่นอัลตราโซนิกซึ่งเรื่องที่จะกล่าวถึงต่อไปจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่างๆของคลื่นและระบบของอัลตราโซนิก

### 2.1 ชนิดของคลื่น

เราสามารถแบ่งคลื่นออกเป็น 2 ชนิดเมื่อพิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลางขณะ คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน คือ คลื่นตามยาว และ คลื่นตามขวาง

คลื่นตามยาว เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางสั่นในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างคลื่น ตามยาว เช่น คลื่นในสปริง คลื่นเสียง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 คลื่นตามยาวในสปริง

คลื่นตามขวาง เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางสั่นในแนวตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างคลื่นตามขวาง เช่น คลื่นในเส้นเชือก เป็นต้น



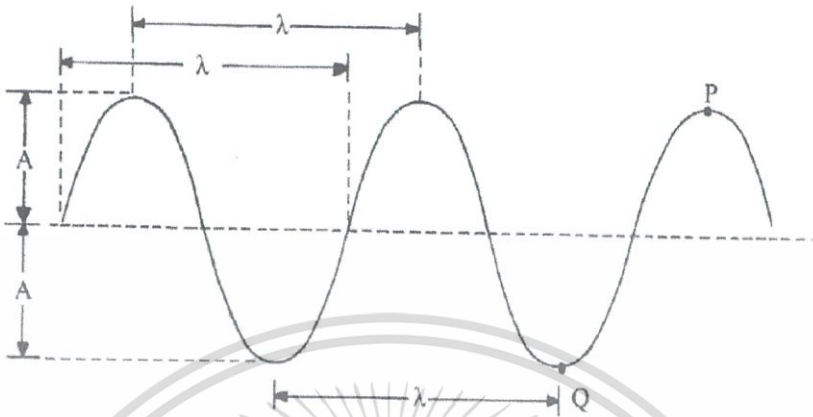
รูปที่ 2.2 คลื่นตามขวางในสปริง

เมื่อพิจารณาลักษณะของการทำให้เกิดคลื่น เราอาจแบ่งคลื่นออกเป็นคลื่นตลและคลื่นต่อเนื่อง โดยคลื่นที่เกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิด คลื่นในช่วงเวลาสั้น ๆ หรือการไปรบกวนแหล่งกำเนิด คลื่นเพียงครั้งเดียว เรียกคลื่นนี้ว่า คลื่นตล และถ้าแหล่งกำเนิดคลื่นสั่นต่อเนื่องหรือการรบกวนแหล่งกำเนิด คลื่นอย่างต่อเนื่อง เรียกคลื่นที่เกิดขึ้นว่า คลื่นต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนประกอบของคลื่น

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของคลื่น จะเห็นลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของคลื่น 3 ประการ คือ ความยาวคลื่น ความถี่และอัตราเร็วของคลื่น นอกจากนี้คลื่นยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีก ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของคลื่น

ความยาวคลื่น หมายถึงระยะที่น้อยที่สุดระหว่างจุด 2 จุดบนคลื่นที่มีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกันทุกประการเราใช้สัญลักษณ์  $\lambda$  แทนความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร

ความถี่ของคลื่น หมายถึงจำนวนคลื่นที่ผ่านจุด ๆ หนึ่ง ในหนึ่งหน่วยเวลาหรือจำนวนรอบที่แหล่งกำเนิดคลื่นหรือตัวกลางสั่นได้ในหนึ่งหน่วยเวลาใช้สัญลักษณ์  $f$  มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์ (Hz)

คาบของคลื่น หมายถึงช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ความยาวคลื่น หรือเวลาที่แหล่งกำเนิดคลื่นหรือตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านครบ 1 รอบ ใช้สัญลักษณ์  $T$  มีหน่วยเป็นวินาที

แอมพลิจูด หมายถึงขนาดของการกระจัดสูงสุดของอนุภาคของตัวกลางที่คลื่นผ่านจากตำแหน่งสมดุลเดิม ใช้สัญลักษณ์  $A$  มีหน่วยเป็น เมตร

อัตราเร็วคลื่น หมายถึงระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา ใช้สัญลักษณ์  $v$  มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

### 2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบของคลื่น

เมื่อพิจารณาจากความหมายของคาบและความถี่ของคลื่น จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

เนื่องจากในเวลา  $T$  วินาที คลื่นเคลื่อนที่ได้ระยะทาง  $\lambda$  เมตร

ดังนั้นจาก

$$\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$$

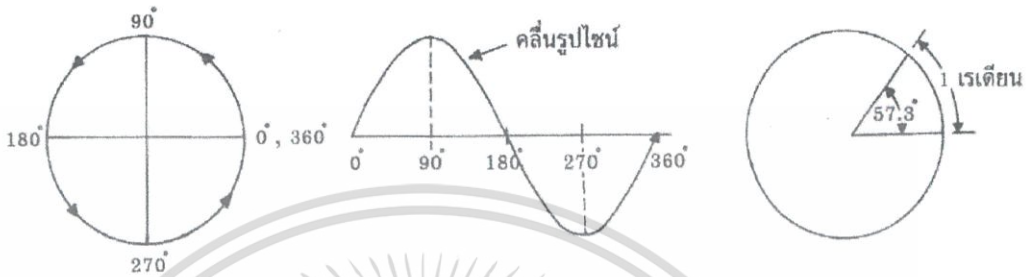
ดังนั้น

$$v = f\lambda \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

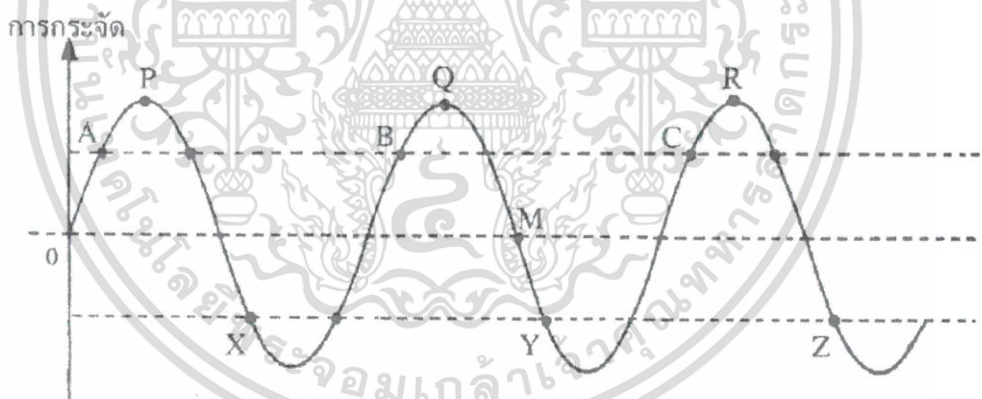
## 2.2.2 เฟสของคลื่น

เฟสของคลื่นเป็นการบอกตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่น โดยบอกเป็นมุมในหน่วยองศา หรือเรเดียน ลักษณะของคลื่นสามารถนำมาเขียนในรูปของคลื่นรูปไซน์ได้ ดังนั้นตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่นรูปไซน์จึงระบุตำแหน่งเป็นมุมในหน่วยองศาหรือเรเดียนได้ ซึ่งมุม 1 เรเดียน เทียบได้เท่ากับ 57.3 องศา มุม 360 องศา เทียบได้เท่ากับ  $2\pi$  เรเดียน



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรเดียนกับองศา

เราสามารถเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง ณ 2 ตำแหน่งขณะคลื่นขบวนหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านได้ว่า 2 ตำแหน่งนั้น มีเฟสตรงกันหรือเฟสตรงข้ามกันได้



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่นรูปไซน์

พิจารณารูปที่ 2.5 จะเห็นว่าจุด A กับจุด B อยู่ห่างกัน 1 ความยาวคลื่น มีเฟสต่างกัน 360 องศาหรือ  $2\pi$  เรเดียน เรากล่าวได้ว่าจุด A และ จุด B มีเฟสตรงกัน สำหรับจุด A กับจุด C อยู่ห่างกัน 2 เท่าของความยาวคลื่น มีเฟสต่างกัน 720 องศาหรือ  $4\pi$  เรเดียน จุด A กับจุด C ก็มีเฟสตรงกัน เมื่อพิจารณาจุด A กับจุด X อยู่ห่างกัน  $\lambda/2$  มีเฟสต่างกัน 180 องศา หรือ  $\pi$  เรเดียน สำหรับจุด A กับจุด Y อยู่ห่างกัน  $3\lambda/2$  มีเฟสต่างกัน 540 องศาหรือ  $3\pi$  เรเดียน เราเรียกว่าจุด A มีเฟสตรงข้ามกับจุด X และจุด A ก็มีเฟสตรงข้ามกับจุด Y ดังนั้นสรุปได้ว่า จุดสองจุดที่อยู่ห่างกัน  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$  จะมีเฟสตรงกัน สำหรับจุดสองจุดที่อยู่ห่างกัน  $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$  จะมีเฟสตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

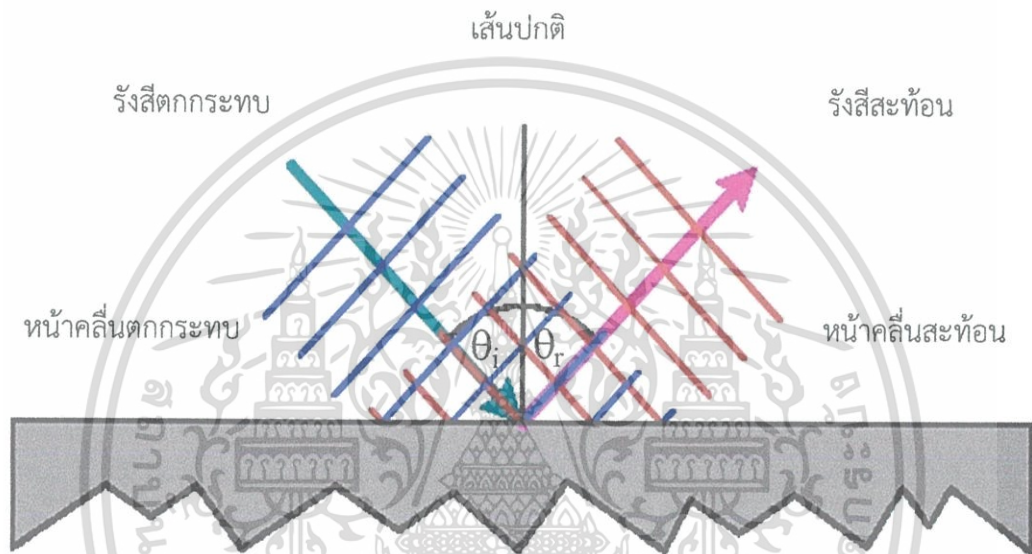
## 2.3 สมบัติของคลื่น

คลื่นมีสมบัติ 4 ประการได้แก่ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด

### 2.3.1 การสะท้อนของคลื่น

คุณสมบัติประการหนึ่งของคลื่น คือ การสะท้อน ลักษณะการสะท้อนเป็นไปตามสภาพของคลื่น การสะท้อนเกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางแล้วเคลื่อนที่กลับมาในตัวกลางเดิมในการสะท้อนของ คลื่น รังสีตกกระทบ เส้นปกติ และรังสีสะท้อน อยู่ในระนาบเดียวกัน โดย

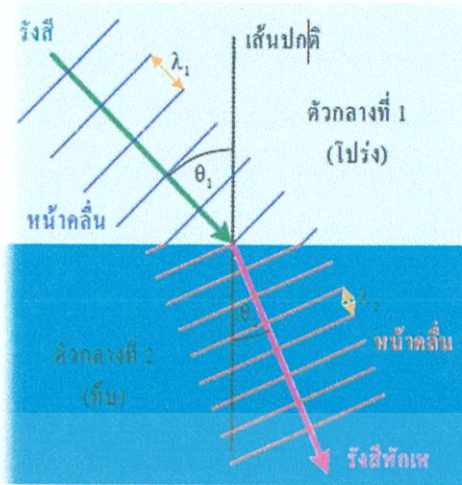
$$\text{มุมตกกระทบ} (\theta_i) = \text{มุมสะท้อน} (\theta_r)$$



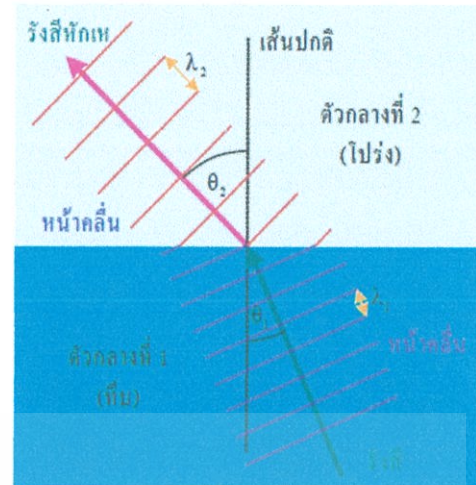
รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน

### 2.3.2 การหักเหของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางที่เปลี่ยนไปจากเดิมความเร็ว และความยาวคลื่นจะเปลี่ยนไป มีผลทำให้ทิศการเคลื่อนที่เบนไปจากแนวเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "การหักเห"



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 (ก) คลื่นเดินทางจากตัวกลางที่โปร่งไปยังตัวกลางที่ทึบกว่า  
(ข) คลื่นเดินทางจากตัวกลางที่ทึบไปยังตัวกลางที่โปร่งกว่า

จากรูปที่ 2.7 (ก) เมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่โปร่งเข้าไปยังตัวกลางที่ทึบ คลื่นเบนเข้าหาเส้น ปกติ ความเร็ว และความยาวคลื่นหักเหในตัวกลางที่ 2 มีค่าลดลง ในกรณีกลับกัน จากรูปที่ 2.7 (ข) เมื่อคลื่น เดินทางจากตัวกลางที่ทึบเข้าไปยังตัวกลางที่โปร่งคลื่นเบนออกจาก เส้นปกติความเร็ว และความยาวคลื่นหักเหในตัวกลางที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น

นิยามให้ "ดัชนีหักเห (n)" หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศ (c) ต่อความเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ (v) ดังนั้น

ดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 คือ

$$n_1 = \frac{c}{v_1}$$

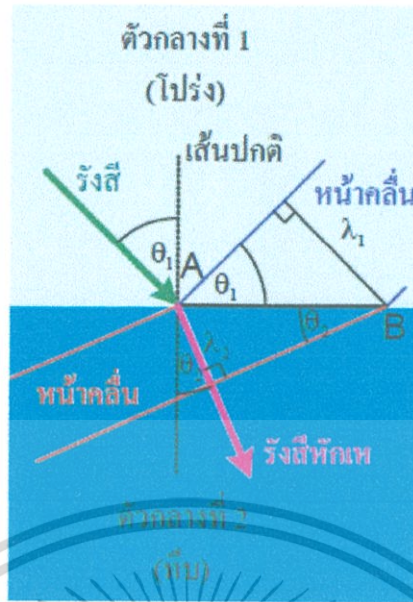
ดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 คือ

$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$

ดังนั้น

$$n_1/n_2 = v_2/v_1 \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพขยายของรูปที่ 2.7(ก)

จากรูปที่ 2.8 ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda_1}{AB}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{\lambda_2}{AB}$$

ดังนั้น

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

เนื่องจากรังสีหักเหและรังสีตกกระทบมีความถี่เท่ากัน ดังนั้น  $f = f_1 = f_2$  และจาก  $\lambda = \frac{v}{f}$

ดังนั้น สมการด้านบนเป็น

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

สมการที่ได้เรียกว่า "กฎของสเนลล์" มีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งก็คือกรณีที่ มีความเป็นไปได้ว่า  $\theta_1$  มีมุมที่เหมาะสมจน ทำให้  $\theta_2$  มุมเท่ากับ  $90^\circ$  คลื่นหักเหจะเกิดการสะท้อนกลับหมด ในกรณีนี้เรียก “มุมวิกฤติ” ใช้สัญลักษณ์เป็น  $\theta_c$  พิจารณาจากกฎของสเนลล์ ดังนี้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin 90^\circ} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

หรือ

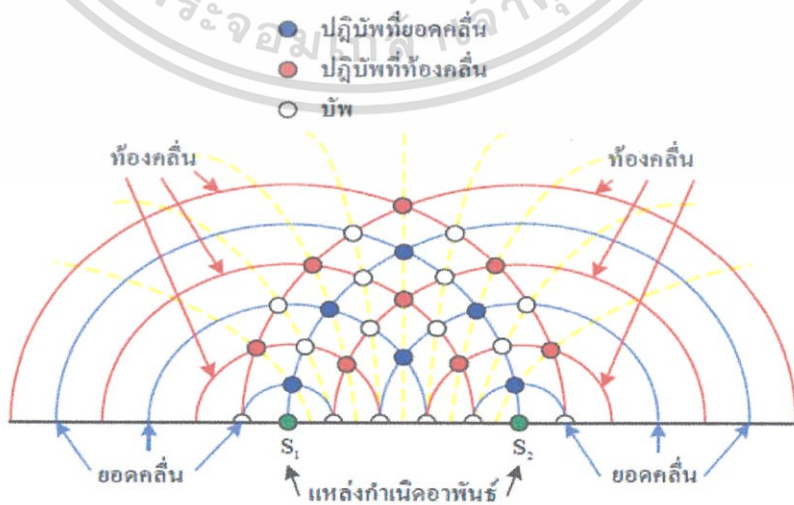
$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

ดังนั้นมุมวิกฤติ คือ

$$\theta_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \tag{2.5}$$

### 2.3.3 การแทรกสอดของคลื่น

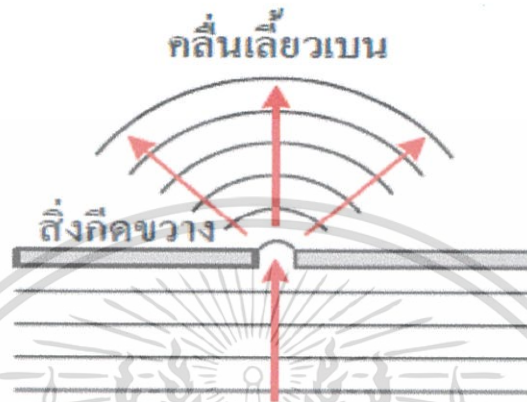
เมื่อคลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่นสองแหล่งเดินทางมาพบกันจะเกิดการซ้อนทับของคลื่น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การแทรกสอดของคลื่น เพื่อให้การพิจารณาง่ายขึ้น สมมติว่ามีคลื่นเพียง 2 ขบวน เข้ามาอยู่ในบริเวณเดียวกัน โดยคลื่นทั้งสองมีความถี่เท่ากัน และมีเฟสตรงกันหรือเฟสต่างกันคงที่ การทำให้คลื่นสอง ขบวนมีความถี่และเฟสเท่ากันทำได้โดยให้คลื่นทั้งสองเกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (coherent source) การแทรกสอดของคลื่นที่เสริมกันจนมีแอมพลิจูดมากที่สุด เรียกว่า “ปฏิบัพ” (antinode) ถ้าคลื่นหักล้างกันจนมีแอมพลิจูดต่ำสุดหรือเป็น 0 เรียกว่า “บัพ” (node) ลักษณะการแทรกสอดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแทรกสอดของคลื่นน้ำที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่ง คือ  $S_1$  และ  $S_2$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น

คลื่นมีลักษณะพิเศษประการหนึ่ง คือ ทุกจุดบนหน้าคลื่นถือให้เป็นต้นกำเนิดคลื่นใหม่ได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "หลักของฮอยเกนส์" ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง คลื่นส่วนที่กระทบสิ่งกีดขวางจะสะท้อนกลับ ส่วนคลื่นที่ผ่านไปจะได้แผ่จากขอบของสิ่งกีดขวางไปจนถึงด้านหลังสิ่งกีดขวาง ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า "การเลี้ยวเบน" คลื่นเลี้ยวเบนยังคงมีความยาวคลื่น ความถี่ และอัตราเร็วเท่าเดิม



รูปที่ 2.10 คลื่นเลี้ยวเบนออกจากสลิตเดี่ยว

### 2.4 ธรรมชาติของเสียง

ชีวิตประจำวันเราจะได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา การได้ยินเสียงของเรา เกิดจากหูได้รับพลังงานจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงผ่านโมเลกุลของอากาศ ลักษณะการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของอากาศจะอยู่ในรูปของคลื่นตามยาว มีผลทำให้ความดันของอากาศบริเวณที่มีการถ่ายทอด พลังงานมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากความดันปกติ บริเวณที่มีความดันมากกว่าปกติเราเรียกว่า ส่วนอัด ส่วน บริเวณที่มีความดันน้อยกว่าปกติเราเรียกว่า ส่วนขยาย

### 2.5 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ความถี่ของคลื่นเสียงจะมีค่าคงตัว เท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ส่วนอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางนั้นคงตัว ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 อัตราเร็วของเสียงที่ตัวกลางต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวกลาง	อัตราเร็ว(เมตร/วินาที)
แก๊ส	
อากาศ(0°)	331
อากาศ(20°)	343
ไฮโดรเจน	1286
ออกซิเจน	317
ฮีเลียม	972
ของเหลว	
น้ำ	1493
เมทิลแอลกอฮอล์	1143
น้ำทะเล	1533
ตัวกลาง	อัตราเร็ว(เมตร/วินาที)
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม	5100
ทองแดง	3560
เหล็ก	5130
ตะกั่ว	1322

จากอัตราเร็วของเสียงในอากาศพบว่า อัตราเร็วของเสียงมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศ โดย เป็นไปตามสมการ

$$v_t = 331 + 0.6t \quad (2.6)$$

เมื่อ  $v_t$  เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ  $t$  ใด ๆ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที  
 $t$  เป็นอุณหภูมิของอากาศมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

เมื่อคลื่นเสียงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งผ่านเข้าไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง จะเกิดการหักเห ตัวอย่างการหักเหของเสียงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งอาจสังเกตเห็นได้ เช่น การเห็นฟ้าแลบแต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง ทั้งนี้เนื่องจากคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศร้อนได้เร็วกว่าอากาศเย็น ซึ่งเราทราบแล้วว่า ชั้นของอากาศเหนือพื้นดินมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน ยิ่งสูงขึ้นไปอุณหภูมิของอากาศยิ่งลดลง ดังนั้นในที่สูง ๆ จากพื้นผิวโลก อัตราเร็วของเสียงจึงน้อยกว่าบริเวณใกล้ผิวโลก ขณะที่เกิดฟ้าแลบและฟ้าร้องในตอนกลางวันคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่จากอากาศตอนบนซึ่งเย็นกว่ามาสู่อากาศบริเวณใกล้พื้นดินซึ่งร้อนกว่า ทำให้เกิดการหักเหของเสียงฟ้าร้องกลับขึ้นไปในอากาศตอนบน ถ้าเสียงเกิดการหักเหกลับขึ้นไปทั้งหมด เราจะเห็นฟ้าแลบแต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้องปรากฏการณ์ข้างต้นนี้แสดงว่า เสียงมีสมบัติการหักเห นอกจากนี้แล้วเสียงยังมีสมบัติการเลี้ยวเบน ในชีวิตประจำวันเราจะพบการเลี้ยวเบนของเสียง เช่น การได้ยินเสียงที่มุมตึก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันการศึกษานี้ เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic)

หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อย ๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

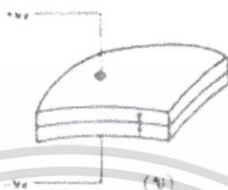
สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด ( ที่ให้เสียงนั้นออกมา ) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งเกตระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึก และทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศ แล้วความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงเกินกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz ( $10^9$  Hz) ก็มีใช้กันในหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้ หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกว่า อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ในปัจจุบัน อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก ภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก แบบที่มีใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งได้รับการพัฒนามาในระดับหนึ่งแล้วจะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิกสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ชิ้นสารเซรามิกนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิก 2 ชิ้น ประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกันดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

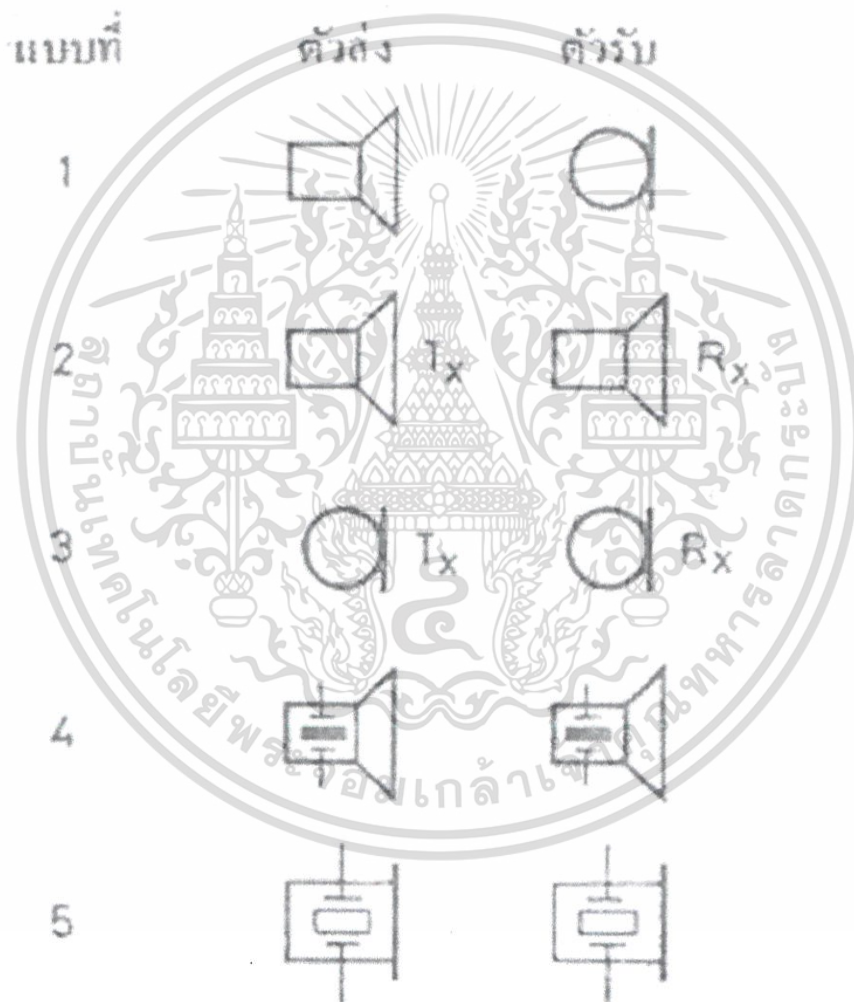
รูปที่ 2.11 (ก).โครงสร้างภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก  
(ข).เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชั้นสารเซรามิกโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ

ชั้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดีเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นขณะทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอกตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์สำหรับบางยี่ห้อเขาจะต่อขาหนึ่งติดกับตัวถังมาให้เลย เมื่อพลิกดูขา 2 ขาที่โผล่ออกมาจากตัวถังจะเห็นมีขาหนึ่งติดกับตัวถัง เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชั้นสารเซรามิกดังรูปที่ 2.11 (ข) จะทำให้ชั้นสารโก่งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทาง การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไป โดยทั่ว ๆ ไปกำลังเอาต์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาต์พุทจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาต์พุทจะลดลงกว่านี้มาก ในทำนองกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามาจะทำให้ชั้นสารโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือมีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 MW เรียกว่าถ้าเอามิเตอร์ธรรมดาติดตั้งเสถียรค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานทางด้านไฟสลับจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 ตัวส่งและตัวรับ

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก ( หรือที่ผู้ผลิตบางรายเรียกว่าอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิก ) จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ ตัวส่งหรือ Transmitter และ ตัวรับ ( เสียง ) หรือ Receiver ตัวส่ง ก็คืออัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุ ให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้าย ๆ กับเป็นลำโพง ตัวรับ ก็คืออัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกที่มาตกกระทบตัวมัน ให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้าย ๆ กับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันคือถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็นลำโพง ถ้าเป็นตัวรับก็เขียนสัญลักษณ์เป็นไมโครโฟน ดังรูป



รูป 2.12 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

เนื่องจากสเปคตลอดจนรายละเอียดต่าง ๆ ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์หาได้ยาก ดังนั้นจึงสามารถที่จะสรุปสิ่งที่ควรรู้ในขั้นต้นของอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานดังนี้

- ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
- ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า  $20 V_{rms}$  ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับทรานสดิวเซอร์ก็ควรจะอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้
- ความถี่เรโซแนนซ์ ( ความถี่ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ) ของทรานสดิวเซอร์ 40 KHz ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน  $\pm 1$  KHz และมีแถบความถี่ (Bandwidth) ประมาณ 4.5 KHz สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้
- อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง  $-20^{\circ} C$  ถึง  $+60^{\circ} C$
- ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ  $30^{\circ}$  ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนขอตัวรับไปประมาณ  $30^{\circ}$  ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลงไปประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้งจึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มากหน่อย เพราะคลื่นเสียงอุลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพง พื้น และวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง
- ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 kW - 100 kW จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 kW มาเป็น 10 kW ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 20 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนซ์ ( ความถี่กลาง ) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่

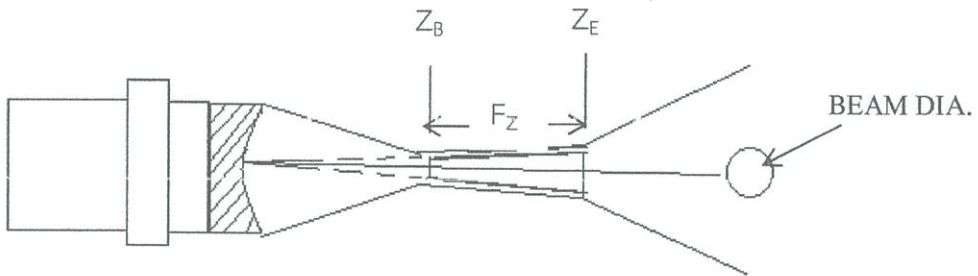
## 2.10 คุณสมบัติสำคัญของอัลตราโซนิกโพรบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะสมบัติที่สำคัญของอัลตราโซนิกโพรบ เนื่องจากในโรงงานพิเศษนี้ได้เลือกใช้อัลตราโซนิกโพรบของบริษัท PANAMETRICS ดังนั้นคุณสมบัติที่กล่าวถึงในที่นี้ จึงอ้างอิงกับคุณสมบัติของอัลตราโซนิกโพรบที่ผลิตโดยบริษัท PANAMETRICS เป็นหลัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกอัลตราโซนิกโพรบซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากในระบบการวัดคลื่นด้วยอัลตราโซนิก นอกจากจะเลือกตามการประยุกต์ใช้งานว่าต้องการใช้เป็นแบบสัมผัสหรือแบบจุ่มแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติอื่นๆประกอบด้วย คุณสมบัติหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกอัลตราโซนิกโพรบ ได้แก่ รูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของความถี่ โดยรูปคลื่นสัญญาณเป็นคุณสมบัติที่บอกถึงอัตราการลดทอนของอัลตราโซนิกโพรบหรือค่าแดมปีง (damping) ของสัญญาณพัลส์อัลตราโซนิก ในกรณีของอัลตราโซนิกที่มีอัตราการลดทอนสูง พัลส์ที่สร้างออกมาจะหยุดในเวลาที่จะเร็วกว่าหัวอัลตราโซนิกโพรบที่มีอัตราการลดทอนต่ำ หรือก็คือมีคาบเวลาของรูปคลื่น (waveform duration) น้อยกว่า คาบเวลาของรูปคลื่นเป็นเวลาหัวอัลตราโซนิกโพรบสั้นหรือใช้ในการส่งคลื่นออกมาร ในเวลานี้หัวอัลตราโซนิกโพรบจะไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ เราเรียกช่วงนี้ว่า “dead zone” ลองพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นของอัลตราโซนิกโพรบโมเดล VIDEOSCAN และโมเดล ACCUSCAN “S” กรณี VIDEOSCAN มีอัตราการลดทอนหรือสูญเสียสูงกว่า ซึ่งส่งผลต่อความละเอียด (resolution) ในการตรวจสอบจะสูงกว่ากรณีของ ACCUSCAN แต่ความไว (sensitivity) ในการตรวจสอบต่ำกว่า คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่สำคัญได้แก่ สเปกตรัมของความถี่ เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงการตอบสนองของความถี่ต่อการสั่นของอัลตราโซนิกโพรบ หรือก็คือกราฟที่แสดงให้ทราบถึงความเข้มเสียงที่ผลิตออกมาจากอัลตราโซนิกโพรบที่มีความถี่ต่างๆ โดยมีพารามิเตอร์ที่น่าสนใจคือ แฟกเตอร์ชี้คุณภาพ (quality factor, Q)

เนื่องจากคุณสมบัติของความละเอียดในอัลตราโซนิกโพรบโมเดล VIDEOSCAN มีค่าสูงตั้งนั้น ในวิทยานิพนธ์ จึงเลือกใช้หัวอัลตราโซนิกโพรบแบบ VIDEOSCAN รุ่น V310-N-SU มีความถี่กลาง (center frequency) ประมาณ 5 MHz เป็นแบบจุ่มที่มีระยะโฟกัส 0.75 นิ้ว ลำคลื่นอัลตราโซนิกที่ปล่อยออกจากหัวอัลตราโซนิกโพรบจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงที่อยู่ห่างจากหัวโพรบไปจนถึงตำแหน่งที่มีแอมพลิจูดสูงที่สุดจุดสุดท้ายและเป็นตำแหน่งที่ลำคลื่นเสียงเริ่มกระจายออกไม่เป็นลำขนาน เราเรียกช่วงนี้ว่า เฟรสเนลโซน (Fresnel zone หรือ near field) ช่วงนี้แอมพลิจูดของลำคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสูงไปต่ำและจากต่ำไปสูงสลับกันไป ถัดจากช่วงนี้ไป แอมพลิจูดของคลื่นจะค่อยๆลดลงตามระยะทางและลำคลื่นเสียงเริ่มบานออก เรียกช่วงนี้ว่าฟรอนโฮเฟอร์โซน (Fraunhofer zone หรือ far field) ตำแหน่งของเฟรสเนลโซน (near field N) นอกจากเฟรสเนลโซนแล้ว คุณสมบัติสำคัญอื่นๆของลำคลื่นอัลตราโซนิกที่ควรรู้ได้แก่ ความกว้างของลำคลื่นอัลตราโซนิกและโฟลคัลโซน โดยความกว้างของลำคลื่น (beam diameter, BD) เป็นคุณสมบัติที่มีผลต่อความไวและความละเอียดในการตรวจสอบ ยิ่งความกว้างของลำคลื่นทั้งหมดมารวมกันที่บริเวณนี้จึงมีพลังงานสูง จึงทำให้เกิดการสะท้อนกลับของจุดบกพร่องสูงอีกด้วย เรียกว่ามีความไวในการตรวจสอบสูงขึ้นด้วย โดยความกว้างของลำคลื่นเสียงคิดที่ตำแหน่งที่แอมพลิจูดลดทอนลงเพียงครึ่งเดียว หรือ -6 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ลักษณะลำคลื่นโฟกัสอัลตราโซนิก

แสดงลักษณะของลำคลื่นอัลตราโซนิกที่ถูกโฟกัส โดยโฟกัสโซน (F<sub>Z</sub>) หรือช่วงที่แอมพลิจูดของสัญญาณสะท้อนกลับลดทอนลงไม่เกิน -6 dB โดยโฟกัสซึ่งแกนแสดงถึงอัตราการขยายของความไวในการตรวจสอบ เมื่อเทียบกับอัลตราโซนิกโพรบที่ไม่มีการโฟกัส จากที่กล่าวข้างต้น อัลตราโซนิกโพรบที่ใช้ในระบบสร้างภาพอัลตราโซนิกแบบซีสแกน ที่พัฒนาขึ้นมา เป็นหัวทรานสดิวเซอร์แบบที่ใช้จุ่มในของเหลว ของบริษัท PANAMETRICS โมเดล V310-N-SU โดยมีความถี่กลางอยู่ที่ประมาณ 5.6 MHz และเป็นหัวโพรบแบบมีการโฟกัสเป็นจุด (spherical focus) โดยมีระยะโฟกัสที่ 0.75 นิ้ว (หรือ ประมาณ 16 มิลลิเมตร) มีเส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก 0.25 นิ้ว (ประมาณ 6 มิลลิเมตร) โดยมีคุณสมบัติของลำคลื่น โดยความกว้างของลำคลื่นเป็นแพ็คเกจที่จำกัดความละเอียดในการสแกนหรือตรวจวัดความบกพร่องของชิ้นงาน กล่าวคือ จุดบกพร่องหรือรูพรุน ในเนื้อชิ้นงานที่เล็กที่สุดที่อัลตราโซนิกโพรบมองเห็นจะประมาณ 0.0356 นิ้วหรือประมาณ 900 ไมครอน และโฟกัสโซน (focal zone) บอกว่าลำคลื่นจะมีขนาดเล็กประมาณ 900 ไมครอน ในช่วงระยะประมาณ 0.654 นิ้ว หรือกล่าวคือเป็นระยะห่างจากจุดโฟกัสประมาณ  $0.654/2 = 0.327$  นิ้ว ดังนั้นในการวัดและการสร้างภาพ ตำแหน่งในแนวแกน z จะคาดเคลื่อนได้ในช่วงไม่เกิน 0.327 นิ้ว หรือประมาณ 8.3 มิลลิเมตร

## 2.11 สเต็ปมอเตอร์ (STEPPING MOTOR)

สเต็ปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็น สเต็ป โดยแต่ละ สเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ลักษณะที่ นามอเตอร์ไปใช้ จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (PRINTER) ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านในเครื่องอ่านบันทึกเทป ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งของปากกาใน X-Y PLOTTER เป็นต้น

### 2.11.1 ชนิดและโครงสร้างของสแต็ปมอเตอร์

สแต็ปมอเตอร์มีลักษณะดังรูป



รูป 2.14 สแต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น

สแต็ปมอเตอร์ที่พบในปัจจุบันมี 3 ลักษณะดังนี้

#### 2.11.1.1 แบบแม่เหล็กถาวร (PERMANENT MAGNET-PM)

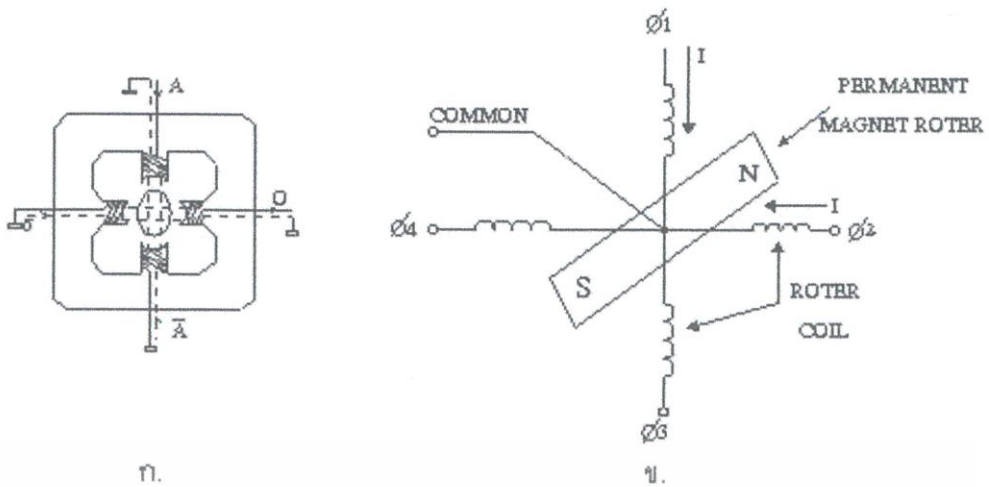
สแต็ปมอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (STATOR) ที่พันขดลวดไว้หลายๆโพล โดยมีโรเตอร์ (ROTOR) เป็นรูปทรง กระบอกฟันเลื่อย และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟกระแสตรงให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนมอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงดูดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด

#### 2.11.1.2 แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (VARIABLE RELUCTANCE-VR)

สแต็ปมอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุนโรเตอร์ได้อย่างอิสระ แม้จะไม่ได้จ่ายไฟให้โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก กาลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกโดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆจุดตั้งนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆ ในมอเตอร์แตกต่างกันไป ก็ทำให้มอเตอร์ หมุนไปตำแหน่งต่างๆ กันโรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

#### 2.11.1.3 แบบผสม (HYBRID-H)

สแต็ปมอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้ม ปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้มุม การหมุนและครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูงและมีขนาดกะทัดรัด และให้แรงดูดยึดโรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ



รูป 2.15 แสดง (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรเทียบเท่า (equivalent circuit) ของมอเตอร์ ชนิด 4 ขด

ตารางที่ 2.2 มุมของโรเตอร์เทียบกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแก่เฟสต่างๆ 8 ตำแหน่ง

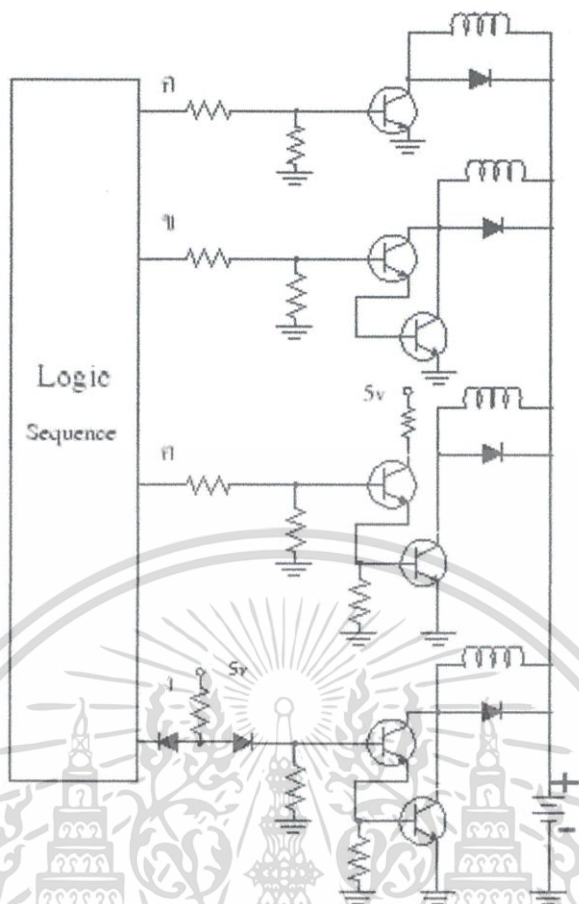
เฟสที่จ่ายกระแสไฟฟ้า	$\Phi_1$	$\Phi_1\Phi_2$	$\Phi_2$	$\Phi_2\Phi_3$	$\Phi_3$	$\Phi_3\Phi_4$	$\Phi_4$	$\Phi_4\Phi_1$
ตำแหน่งโรเตอร์	↑	↖	→	↘	↓	↙	←	↗

จากลักษณะของมุมโรเตอร์หมุนกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนแก่เฟสต่างๆจะสามารถสั่งงานให้ STEPPING MOTOR หมุนได้ 3 อย่าง คือ

1. แบบจ่ายกระแสไฟให้เฟสเดียววนเวียนกันไป เรียก ONE-EXCITATION หรือ HALF DRIVE คือ  $f_1, f_2, f_3, f_4$  การ OUT EXCITATION แบบนี้แรงบิดจะน้อย
2. แบบจ่ายกระแสไฟให้พร้อมกันทีละ 2 เฟส เรียก TWO-EXCITATION หรือ FULL STEP คือ  $f_1f_2, f_2f_3, f_3f_4, f_4f_1$  หมุนเวียนกันไปแบบนี้แรงบิดจะมาก
3. แบบจ่ายกระแสไฟให้ทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส เรียก ONE-TWO EXCITATION หรือ HALF STEP เหมือนรูปแสดงของมุมโรเตอร์ แต่แบบนี้จำนวน STEP วนวนจะเป็นตรงกันข้าม

### 2.12 วงจรขับสแต็ปมอเตอร์

วงจรขับ (DRIVE) เมื่อเรารู้ซีควเอนซ์ของมันแล้วต่อไปเราก็ต้องมีวงจร DRIVE ให้แก่ STEPPING MOTOR วิธีที่ง่ายที่สุดในการ ต่อวงจรซีควเอนส์เข้ากับวงจรขับ คือ การต่อโดยตรง ดังเอาท์พุท ก และ ข แต่ถ้ากระแสเอาท์พุทของวงจรซีควเอนส์ไม่เพียงพอก็ต้องต่อ บัฟเฟอร์ (BUFFER) เพื่อขยายกระแสดังรูป ที่ 2.16 เอาท์พุท ค และ ง



รูป 2.16 แสดงวิธีขับเอาต์พุทของสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

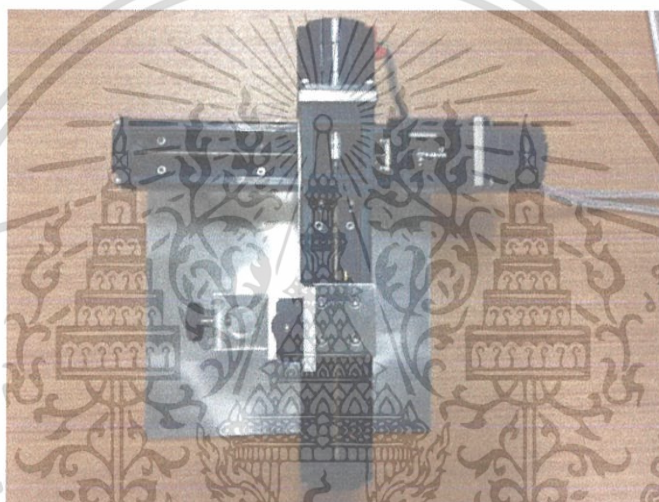
### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

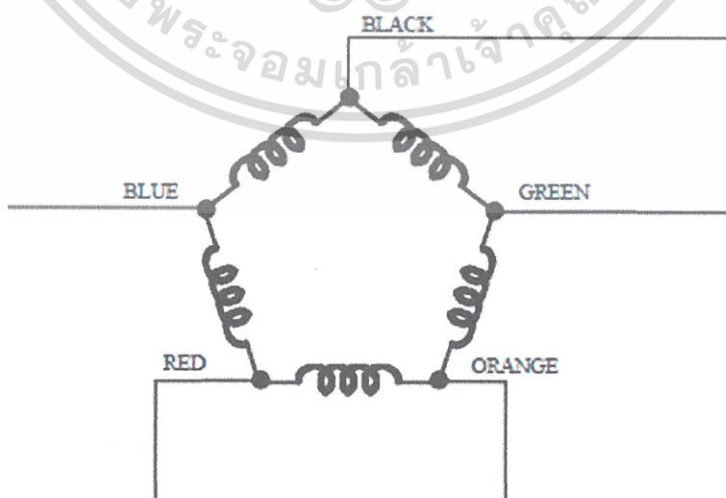
ในโครงการพิเศษเรื่องอัลตราโซนิกซี – สแกนจะมีอุปกรณ์ส่วนหลักๆ อยู่สองส่วน คือ ชุดขับมอเตอร์ (driver motor) และ ชุดควบคุมระบบอัลตราโซนิก ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ โดยในโครงการพิเศษจะจัดทำชุดขับสเต็ปมอเตอร์ 5 เฟส และควบคุมผ่านโปรแกรม Visual Basic

### 3.1. อุปกรณ์สำหรับขับสเต็ปมอเตอร์

#### 3.1.1 แทนสแกน X-Y



รูปที่ 3.1 สเต็ปปั๊มมอเตอร์ 5 เฟสที่ติดบนแทนจับ

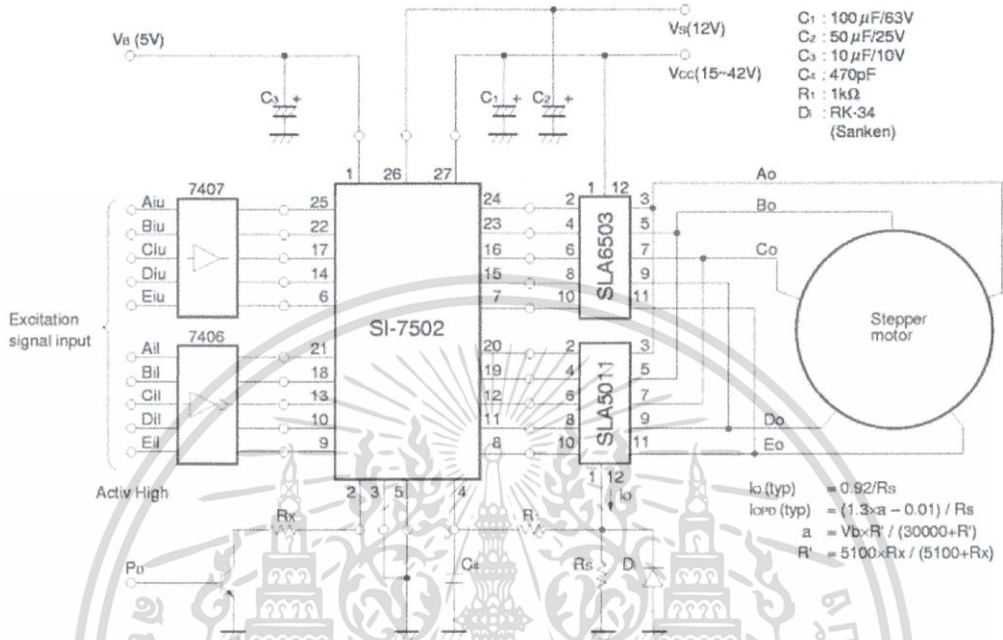


รูปที่ 3.2 วงจรภายในสเต็ปมอเตอร์ 5 เฟส แบบ pentagon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 Driver Step Motor 5 Phase

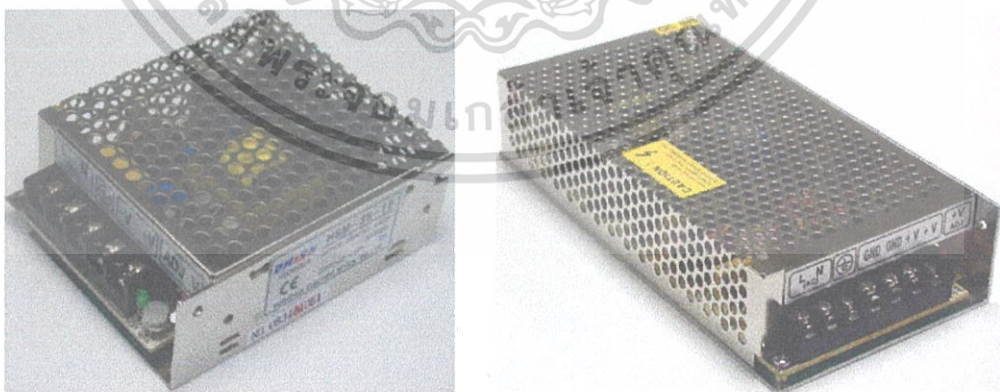
ใช้เป็นตัวขับ Step Motor 5 Phase



รูปที่ 3.3 วงจรขับ Stepper Motor 5 phase

### 3.1.3 Dc Power Supply

ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขับ Step motor โดยที่ต้องใช้คือ 5 V, 12 V และ 24 V

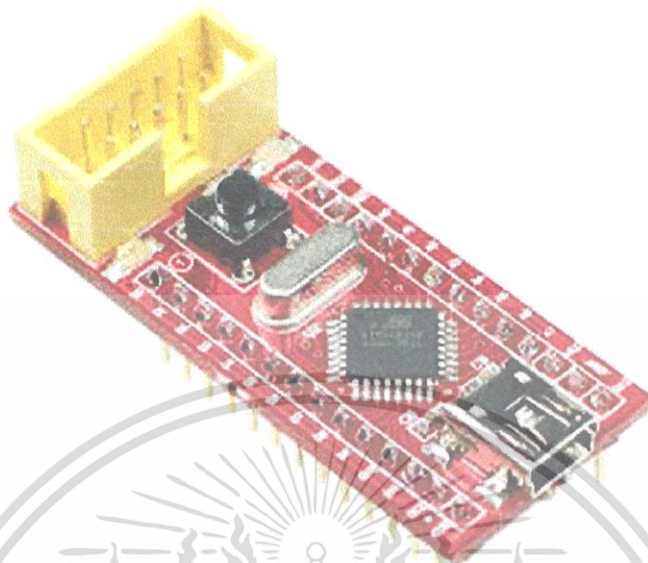


รูปที่ 3.4 Switching power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4 Controller

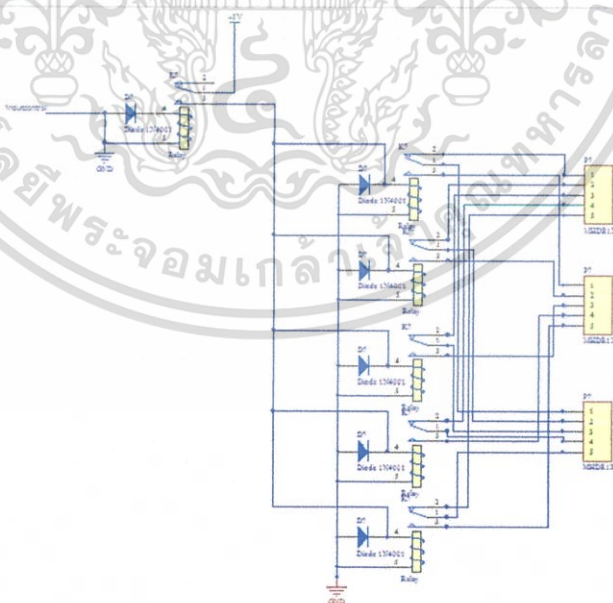
ในโครงการนี้ใช้คอนโทรลเลอร์ของ ETT รุ่น ET-EASY STAM 128



รูปที่ 3.5 Controller ET-EASY STAM 128

### 3.1.5 วงจรรีเลย์

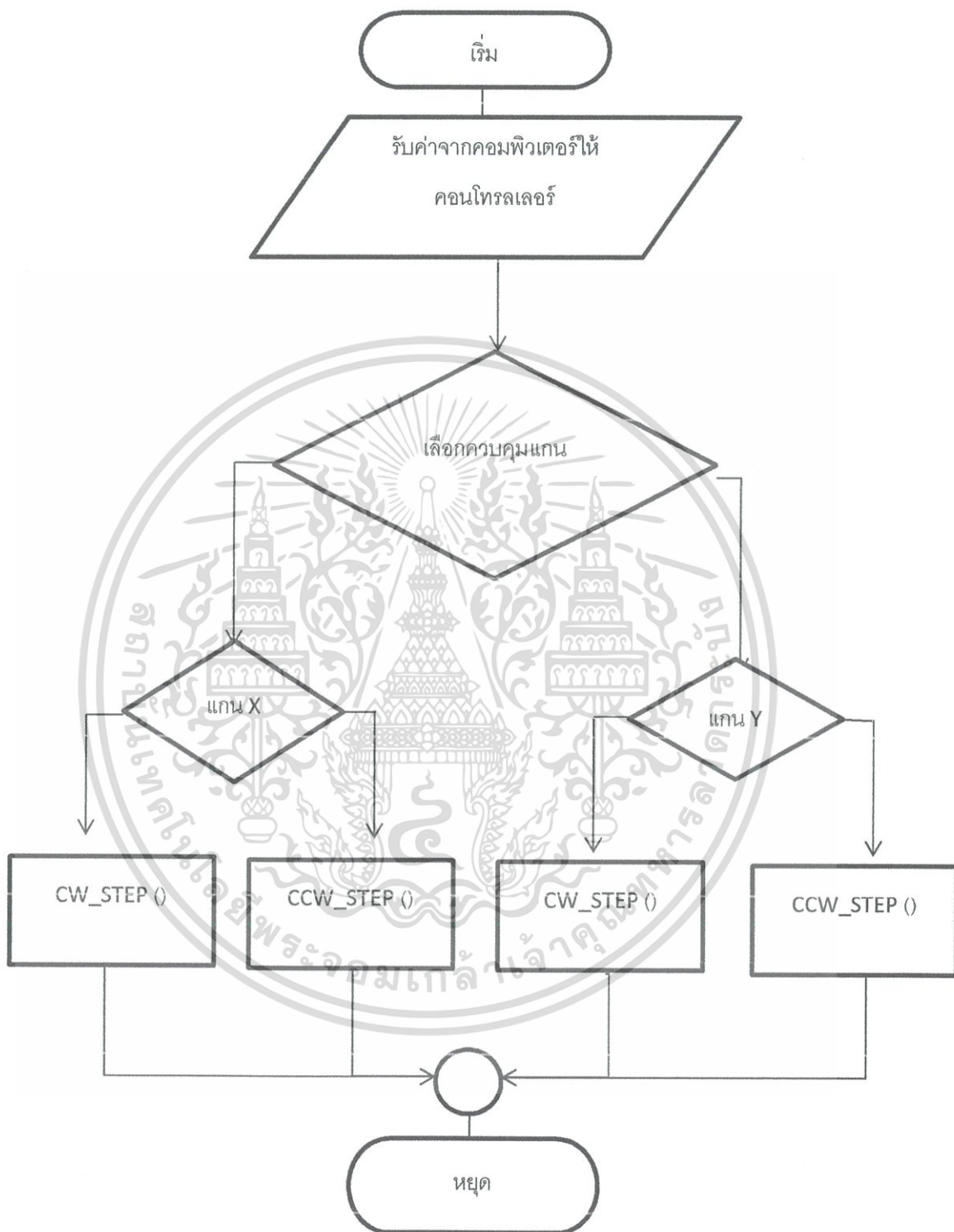
ทำหน้าที่เลือกแกนที่ต้องการขับ



รูปที่ 3.6 วงจรรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 Flow Chat ของส่วนคอนโทรลเลอร์

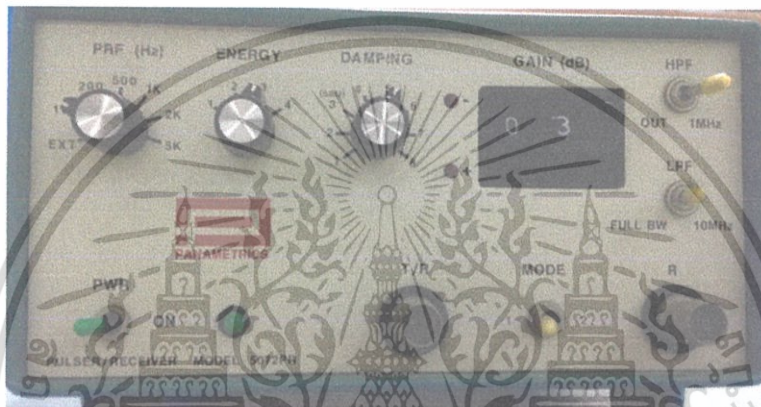


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 อุปกรณ์ควบคุมระบบอัลตราโซนิก

#### 3.3.1 Pulser- Receiver

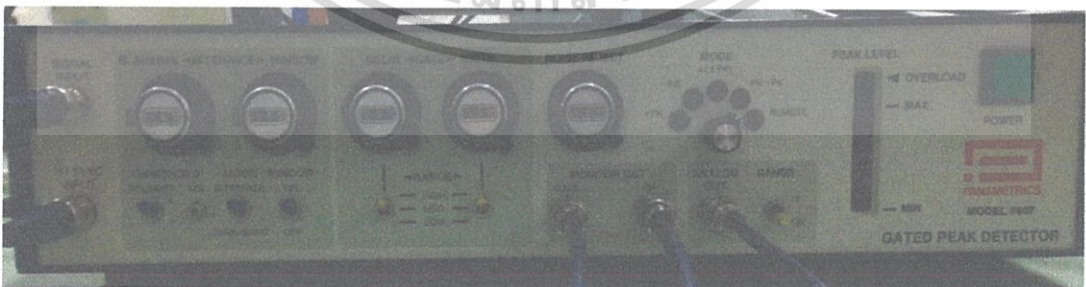
ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้แก่หัววัดอัลตราโซนิก และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้าสู่หัววัดอัลตราโซนิกมีพารามิเตอร์ของภาคส่ง ได้แก่ พลังงาน(ENERGY) ทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไปสู่อัลตราโซนิกโพรบ การลดทอนสัญญาณกระเพื่อม(damping) ทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้เกิดสัญญาณกระเพื่อม(ringing effect)โดยลดแรงดันไฟฟ้าและความกว้างของแรงดันไฟฟ้าพัลส์กระตุ้นลง และความถี่ในการกระตุ้น (pulse repetition frequency,PRF) ทำหน้าที่ผลิตพัลส์กระตุ้นเป็นจังหวะๆ ในภาครับพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ อัตราการขยาย/อัตราการลดทอนสัญญาณ



รูปที่ 3.7 PULSER/RECEIVER MODEL 5072PR

#### 3.3.2 GATED PEAK DETECTOR

เป็นอุปกรณ์สำหรับอ่านค่าสัญญาณแอมพลิจูด หรือ แรงดันไฟฟ้าพิก(peak voltage) ของคลื่นอัลตราโซนิกในช่วงที่เปิดหน้าต่างไว้ (gate window) ต้องใช้งานคู่กับ Pulser- Receiver ในกรณีของเครื่องที่ใช้อยู่เป็นเครื่องตรวจจับพิกของ PANAMETRICS รุ่น 5607

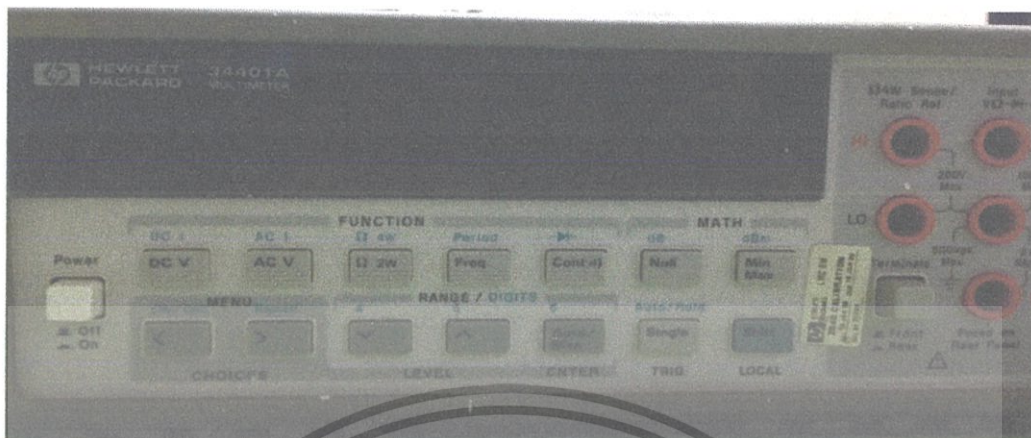


รูปที่ 3.8 GATED PEAK DETECTOR MODEL 5607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 MULTIMETER

ทำหน้าที่รับสัญญาณ Analog จาก GATED PEAK DETECTOR แล้วส่งให้คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.9 Digital Multimeter รุ่น 34401A

### 3.3.4 Digital Oscilloscope

ทำหน้าที่แสดงสัญญาณจาก GATED PEAK DETECTOR จะแสดงสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ GATE(หน้าต่างที่เราต้องการตรวจจับแอมป์ลิจูด) และ RF(สัญญาณจาก Pulser- Receiver)



รูปที่ 3.10 DIGITAL OSCILLOSCOPE รุ่น DS1052D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 อัลตราโซนิกโพรบ

เป็นอัลตราโซนิกโพรบของบริษัท PANAMETRICS รุ่น V310-N-SU ซึ่งมีคุณสมบัติตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของอัลตราโซนิกโพรบ

ความถี่กลาง	5.6 MHz
แบนด์วิธ	5.35 MHz
ลักษณะของการโฟกัส	Spherical Focus
ระยะโฟกัส	19 mm
ระยะเฟรสนน N	34.2mm
ความกว้างของลำคลื่น BD	0.902mm
โฟคัลโซน Fz	16.6mm

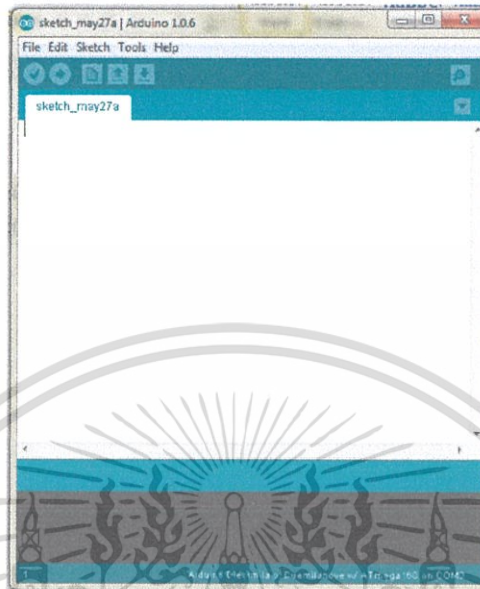


รูปที่ 3.11 อัลตราโซนิกโพรบ รุ่น V310-N-SU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

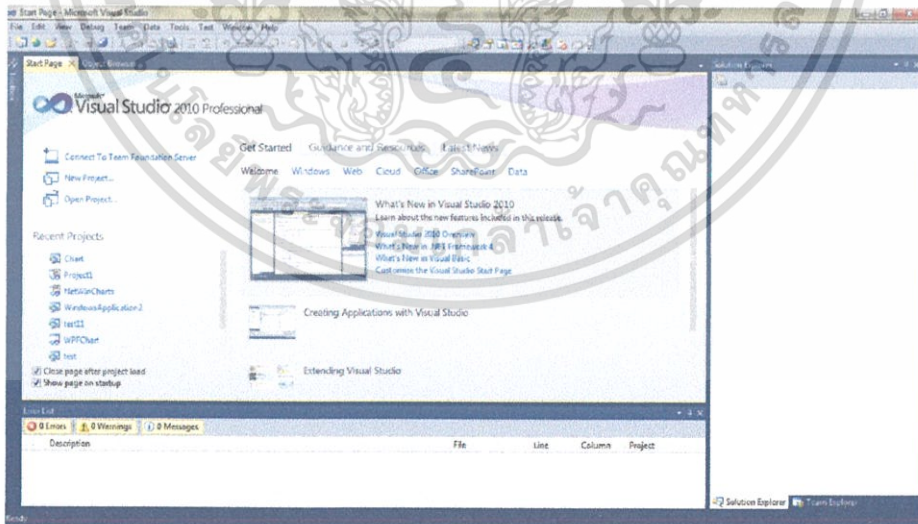
### 3.4 โปรแกรมที่ใช้พัฒนาโครงการงานพิเศษ

#### 3.4.1 Arduino ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมให้กับคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างโปรแกรม Arduino

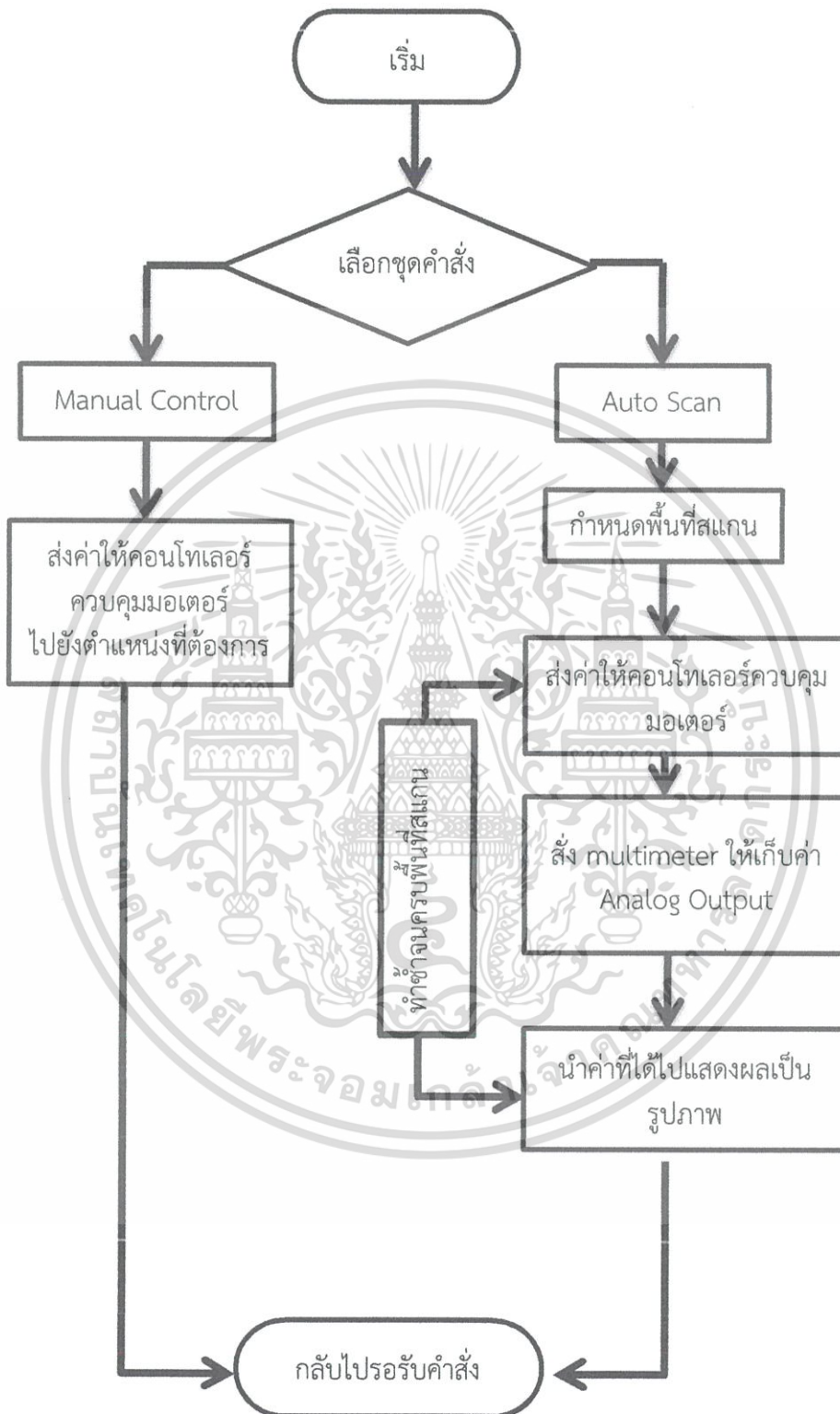
#### 3.4.2 Visual Basic ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม Window Application เพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์ผ่านคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างโปรแกรม Visual Basic

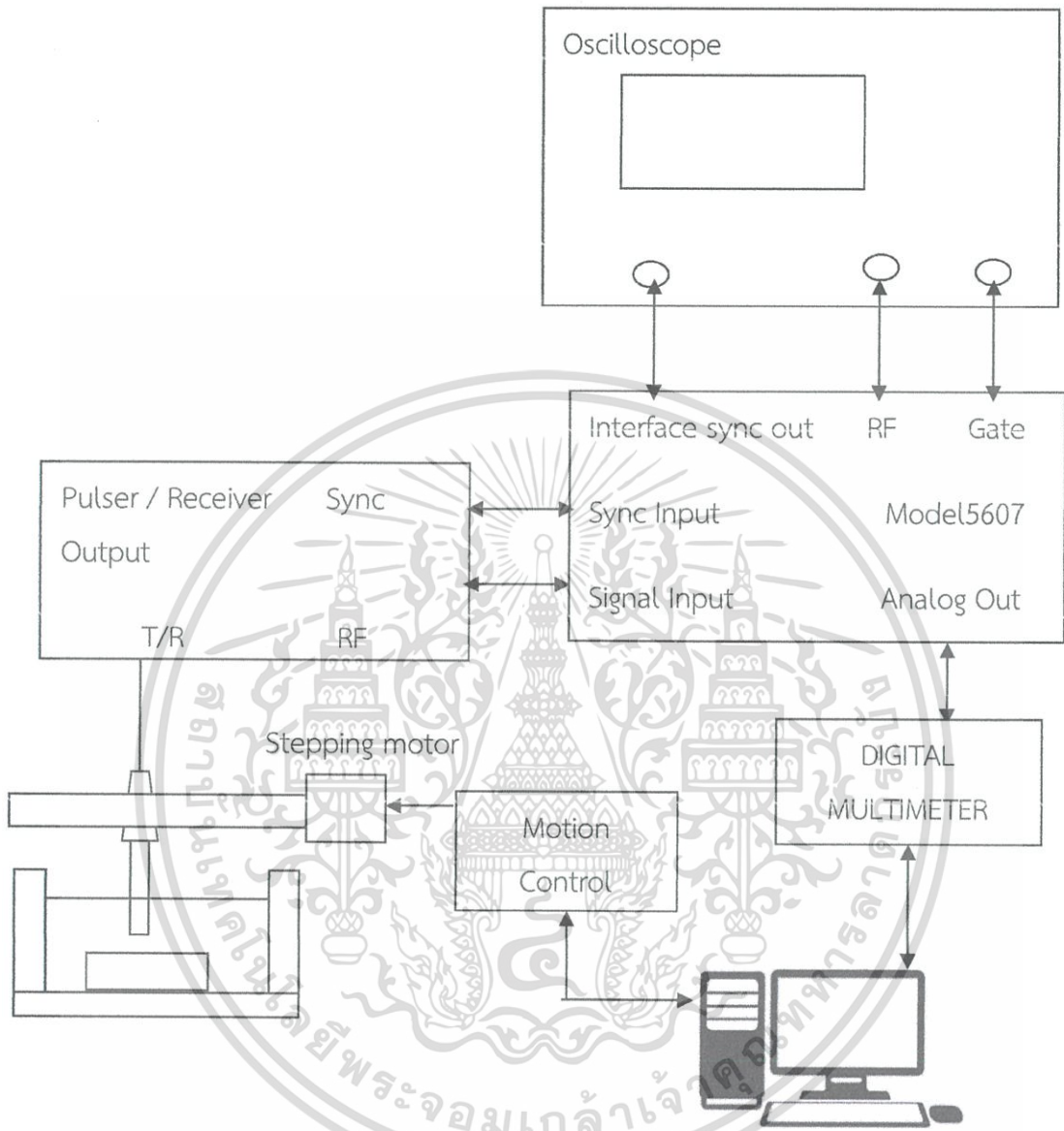
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 Flow Chat ของส่วนโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 วิธีต่อระบบอัลตราโซนิก ซี - สแกน



รูปที่ 3.14 ระบบอัลตราโซนิกซี-สแกน

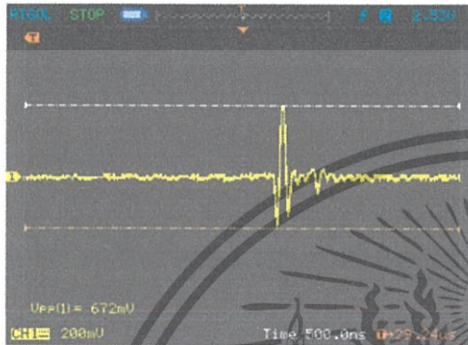
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

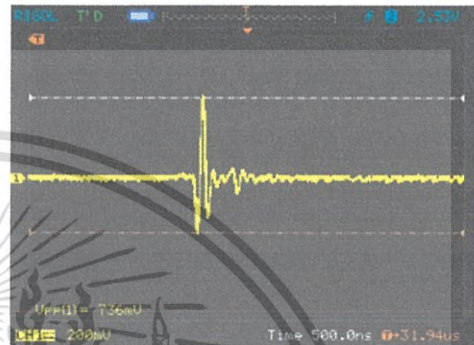
# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 4.1 ทหาระยะไฟก๊สของอัลตราโซนิคโพรบ

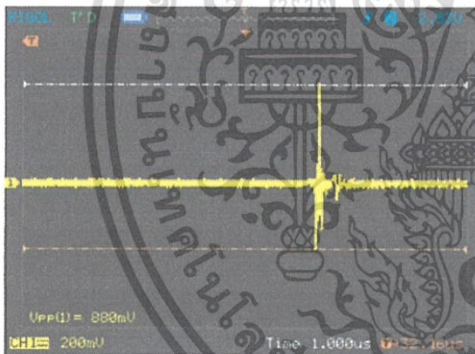
เมื่อทำการต่อระบบอัลตราโซนิก ซี - สแกน ดังรูปที่ 4.1 แล้ว พารามิเตอร์สำคัญค่าแรกที่  
ต้องทำการทดลอง คือ การหาระยะไฟก๊สซึ่งโซน เป็นช่วงที่แอลเปลี่งจุดสูงสุดช่วงหนึ่ง



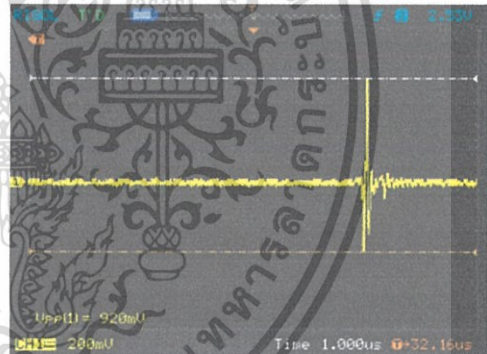
4.1 (ก) H = 21 มม.



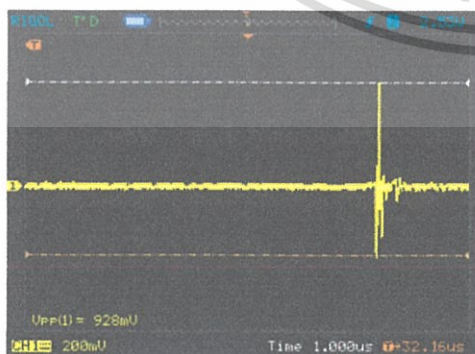
4.1 (ข) H = 22 มม.



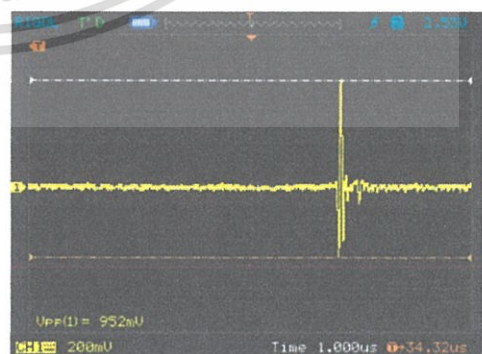
4.1 (ค) H = 24.1 มม.



4.1 (ค) H = 25.1 มม.

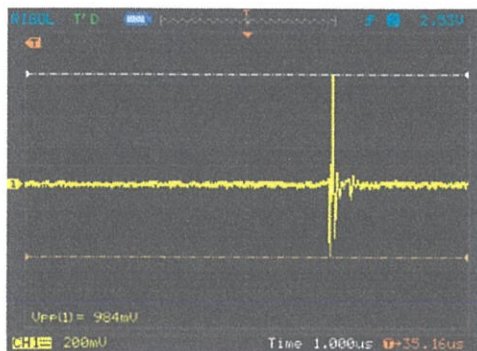


4.1 (ง) H = 25.1 มม.

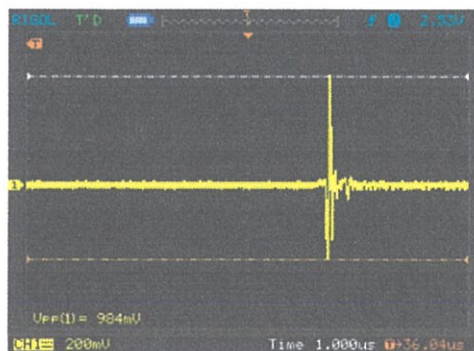


4.1 (ง) H = 25.5 มม.

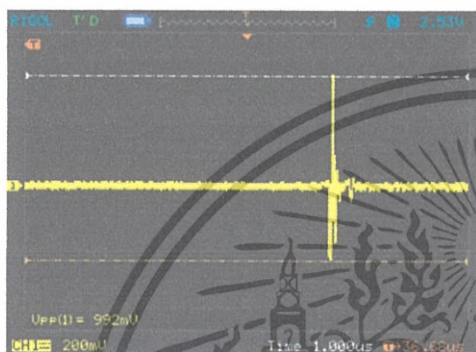
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



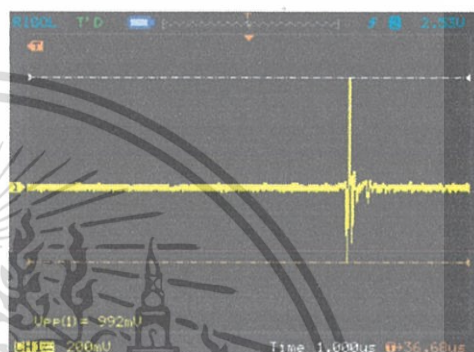
4.1 (จ) H = 26 มม.



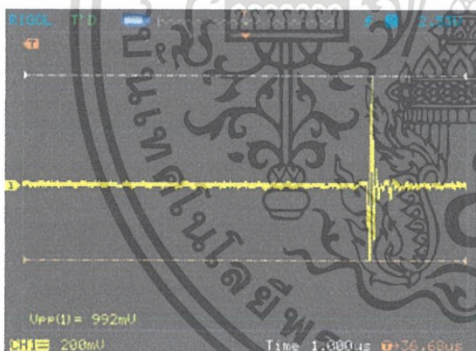
4.1 (ข) H = 26.75 มม.



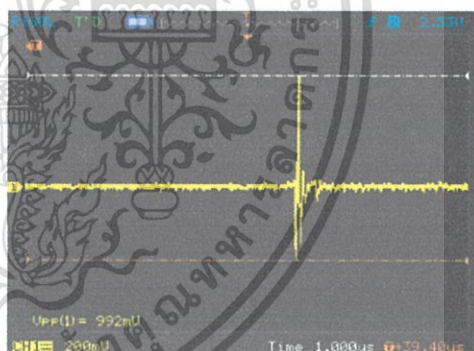
4.1 (ค) H = 27 มม.



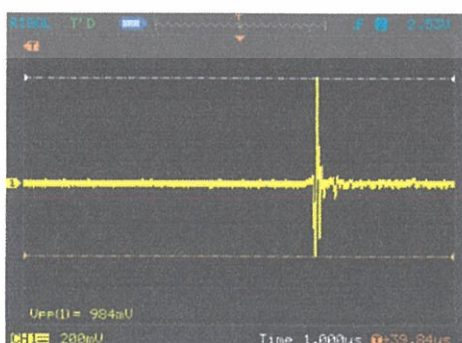
4.1 (ง) H = 28 มม.



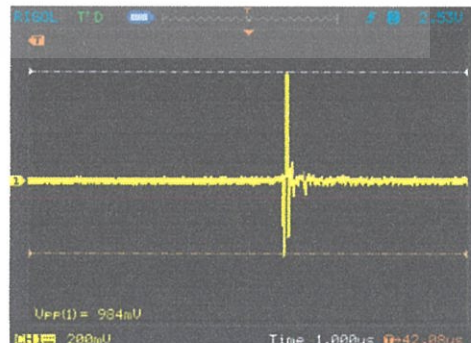
4.1 (ฉ) H = 28.2 มม.



4.1 (ฐ) H = 28.8 มม.

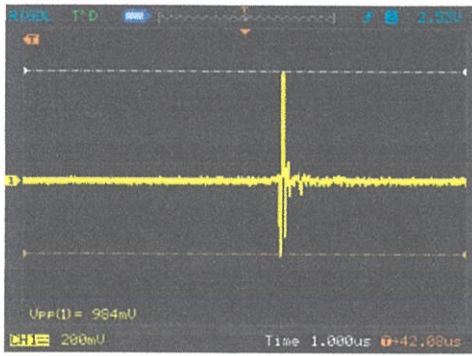


4.1 (ฑ) H = 29.1 มม.

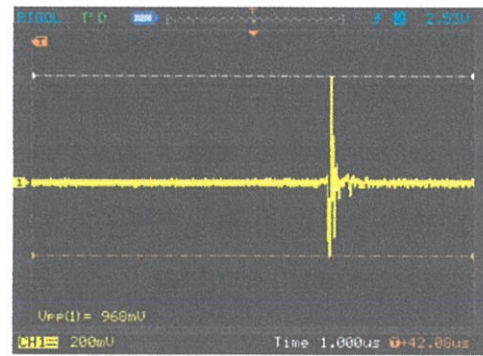


4.1 (ฒ) H = 30 มม.

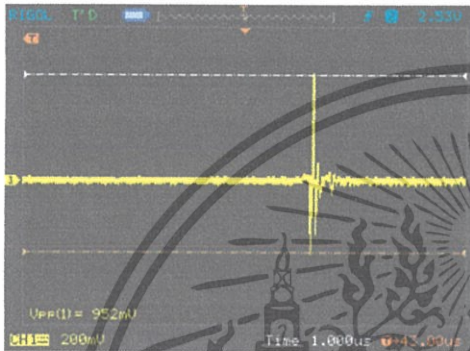
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



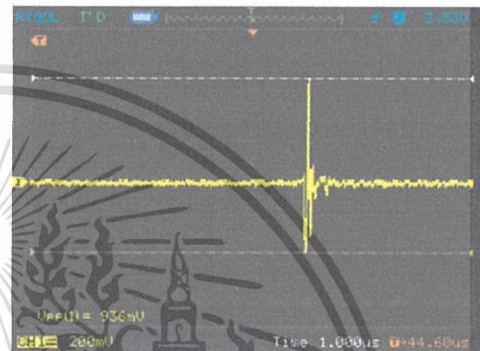
4.1 (ก) H = 30.55 มม.



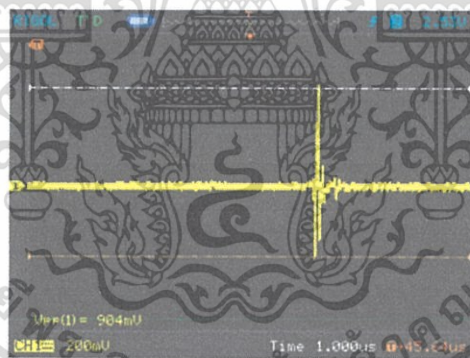
4.1 (ข) H = 30.75 มม.



4.1 (ค) H = 31.75 มม.



4.1 (ด) H = 32,6 มม.



4.1 (ณ) H = 34.1 มม.

รูปที่ 4.1 แสดงแอมพลิจูดที่ความสูงช่วงต่างๆในแนวแกน Z

และนำแอมพลิจูดที่ความสูงช่วงต่างๆในแนวแกน Z มาพลอตกราฟโดยที่ แนวแกน Z เป็น แกน Y และ แอมพลิจูด(mVpp) เป็นแกน X

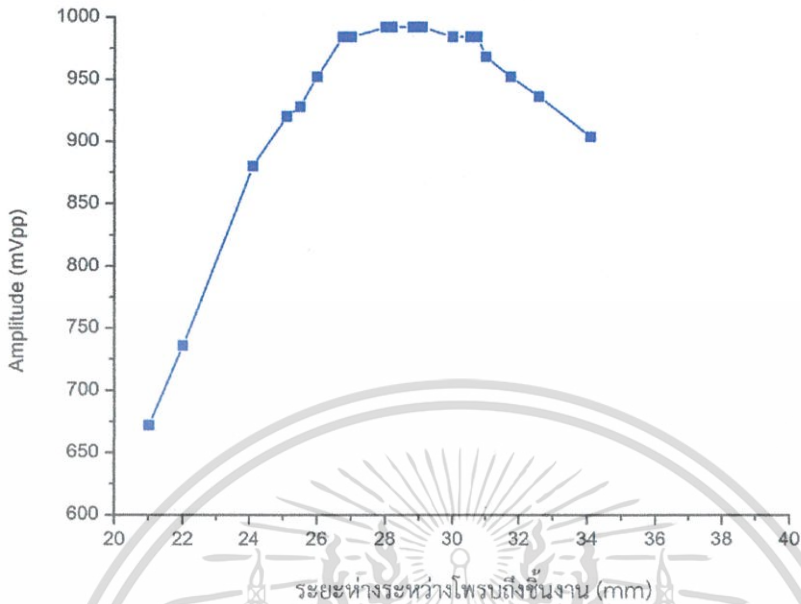
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างโพรบถึงชิ้นงาน(มม.) กับ ค่าแอมพลิจูด(mVpp)

ระยะห่างระหว่างโพรบถึงชิ้นงาน(มม.)	แอมพลิจูด(mVpp)
21	672
22	736
24.1	880
25.1	920
25.5	928
26	952
26.75	984
27	984
28	992
28.2	992
28.8	992
29.1	992
30	984
30.55	984
30.75	984
31	968
31.75	952
32.6	936
34.1	904

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างโพรบถึงชิ้นงาน (mm) กับ ค่าแอมพลิจูด (mVpp)

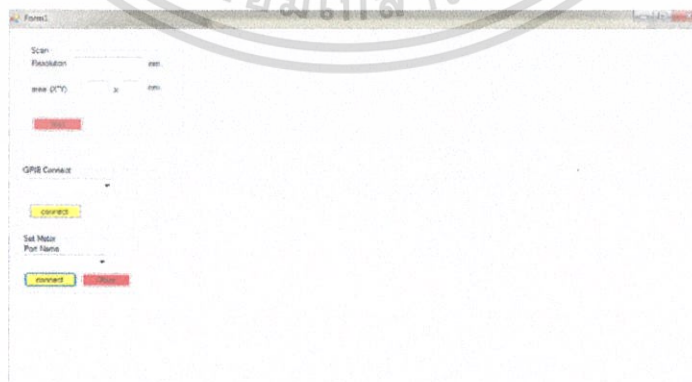


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างโพรบถึงชิ้นงาน(มม.) กับ แอมพลิจูด (mVpp)

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า ระยะที่ 28 มม. ถึง ระยะที่ 29.1 มม. จะมีแอมพลิจูดสูงสุดและคงที่ ช่วงหนึ่ง ซึ่งถูกเรียกว่า โฟกัสซิงโซน(focusing zone) ข้อมูลดังกล่าวบอได้ว่าระยะโฟกัสในแนวแกน Z คลาดเคลื่อนได้ 1.1 มม. โดยไม่ทำให้สัญญาณแอมพลิจูดลดลงหรือเปลี่ยนแปลง

#### 4.2 ทดลองถ่ายภาพด้วยอัลตราโซนิกซี - สแกน

จากการทดลองที่ผ่านมาได้หาระยะโฟกัสซิงโซนมาแล้ว จึงได้ลองนำวัตถุมาลองถ่ายภาพด้วยอัลตราโซนิกแบบ ซี - สแกนผ่านโปรแกรมที่จัดทำขึ้น



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้ได้ใช้เหรียญขนาด 5 บาท มาทำการใช้ระบบอัลตราโซนิก ซีสแกน

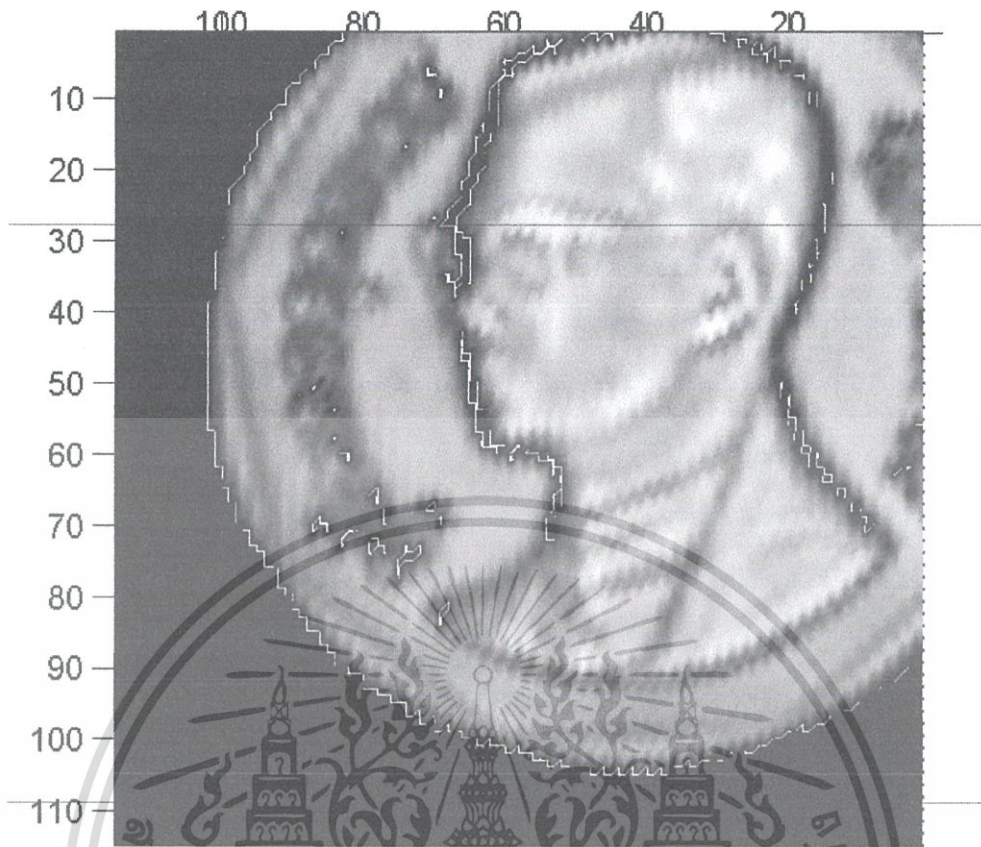


รูปที่ 4.4 ภาพเหรียญ 5 บาทจริงก่อนทำการสแกน

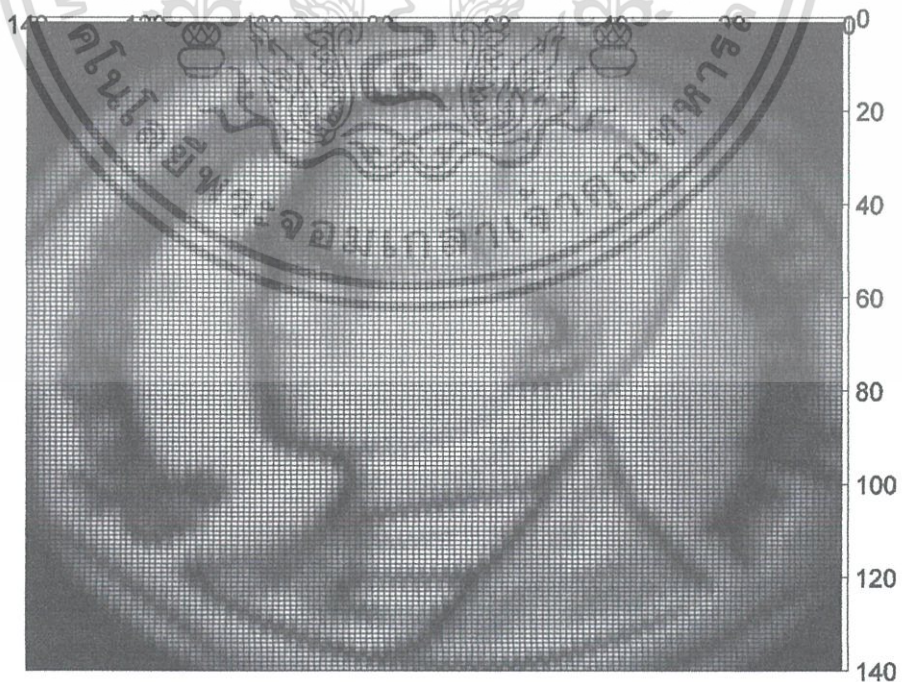


รูปที่ 4.5 ภาพที่สแกนโดยใช้ความละเอียด 0.2 มม.

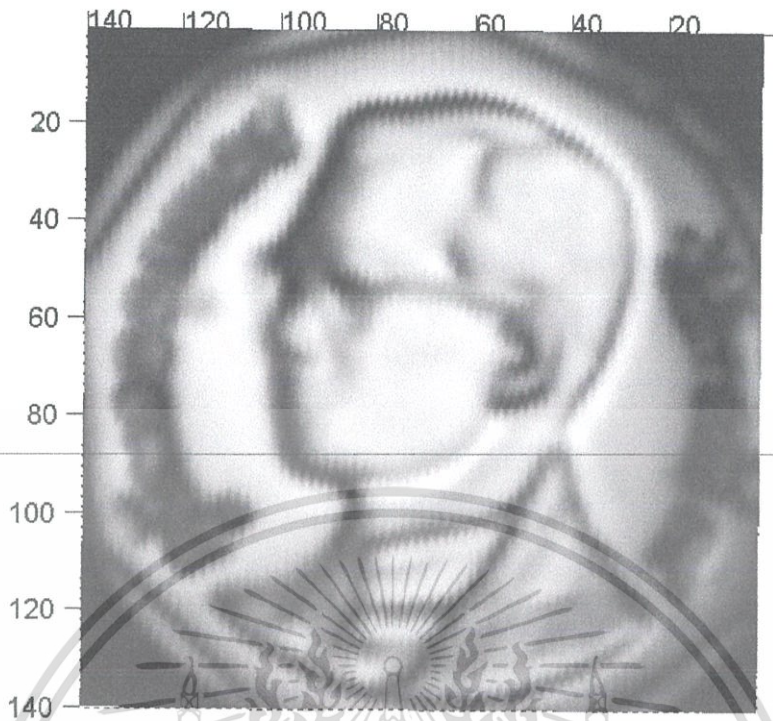
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



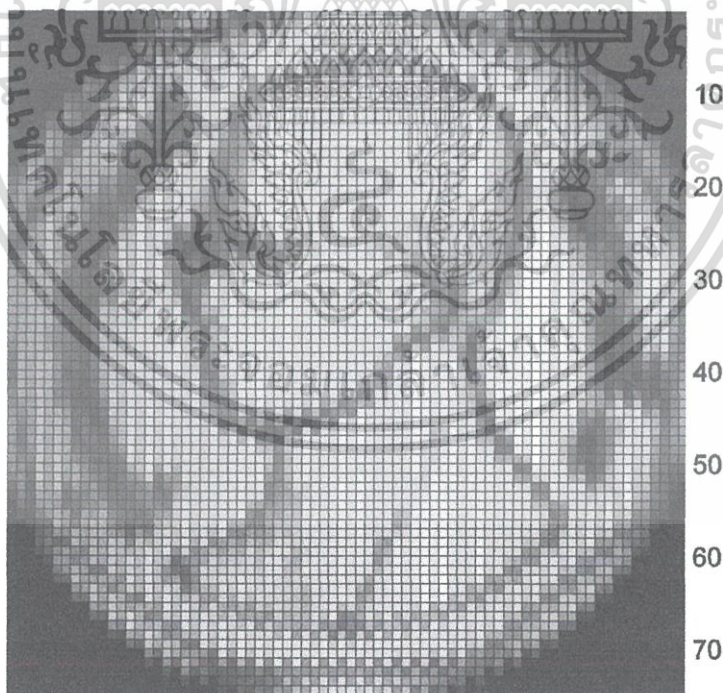
รูปที่ 4.6 ภาพความละเอียด 0.2 มม. ที่ผ่านการ Smooth ภาพ ด้วยโปรแกรม Matlab



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.7 ภาพที่สแกนโดยใช้ความละเอียด 0.15 มม.  
 ให้อีกการแก้ไขเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพความละเอียดที่ 0.15 มม. ที่ผ่านการ Smooth ภาพด้วยโปรแกรม Matlab



รูปที่ 4.9 ภาพความละเอียดที่ 0.3 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการจัดทำชุดขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ (Driver) มาทดลองใช้กับ stepping motor แบบแปรผันค่ารีลักแตนซ์กับระบบอัลตราโซนิก ซี-สแกน ภาพที่ถ่ายออกมานั้นจะเห็นได้ว่าภาพที่มีความละเอียด 0.15 มิลลิเมตร และภาพที่มีความละเอียด 0.3 มิลลิเมตรนั้นทำการสแกนในพื้นที่ 21 x 21 มิลลิเมตร ผลคือภาพที่ถ่ายได้ด้วยอัลตราโซนิกแบบซี - สแกน นั้นมีขนาดใกล้เคียงกับภาพจริงนี้แสดงให้เห็นว่า ชุดขับเคลื่อนที่ทำออกมานั้นสามารถนำมาใช้กับระบบอัลตราโซนิกซี - สแกนได้ แต่ภาพที่ได้ออกมานั้นมีความไม่ชัดเจนที่ตัวอักษร ไม่ว่าจะเป็นที่ความละเอียด 0.2 มิลลิเมตร หรือ ที่ความละเอียด 0.15 มิลลิเมตร หรือที่ความละเอียด 0.3 มิลลิเมตร สันนิษฐานได้ว่าตัวอักษรมีขนาดเล็กกว่าขนาดลำคลื่นของคลื่นอัลตราโซนิกที่ช่วงของโพกัสจึงโซนทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไม่แนะนำให้ใช้ชุดขับเคลื่อนนี้กับระบบที่ต้องการการสแกนที่ความละเอียดสูง (ระดับ ไมโครเมตร) เพราะมอเตอร์อาจจะเกิดการ Error ทำให้ตำแหน่งที่ต้องการไม่ถูกต้อง
2. ผู้ที่ใช้ชุดขับเคลื่อนนี้กับระบบอัลตราโซนิกควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ
3. ชุดขับเคลื่อนนี้สามารถพัฒนาต่อได้โดยการทำ Microcontroller ชิปเดี่ยวขึ้นมาคอยอ่าน INPUT จาก Controller หลักที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์จะทำให้ประหยัดในการใช้ขาของ Controller ได้

## เอกสารอ้างอิง

บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์. 2544. “ระบบสร้างภาพด้วยอัลตราโซนิกความถี่ต่ำแบบ ซี – สแกน.”  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# The 5-phase New Pentagon Driver Chip Set

Any stepping motor driver circuit requires several logic and power circuit functions to work together to supply the proper amount of current at the right time to the stepping motor windings in order for the motor to provide accurate and smooth motion to the load. Figure 1 below shows the basic functional block diagram of a 5-phase New Pentagon driver circuit. Each of these functions is an important part of the overall circuit and close attention should be paid to each of them.

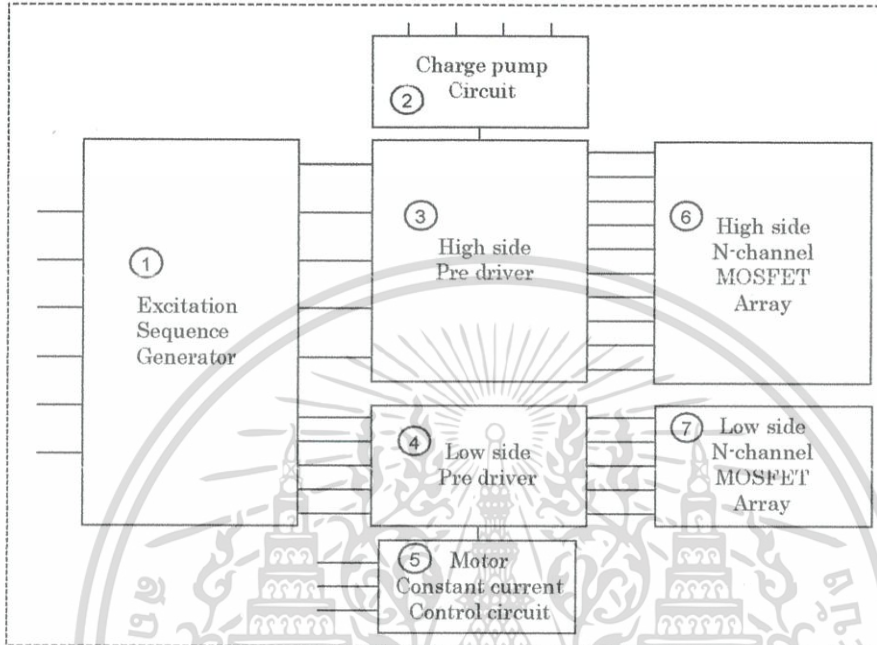


Figure 1: New Pentagon driver functional block diagram

## 1. Excitation Sequence Generator

The excitation sequence generator function is primarily responsible for converting the step and direction input signals from the upper level controller into the proper phase sequence to cause the 5-phase stepping motor to rotate. The sequence generator determines what combination of MOSFET transistors need to be turned ON to make the motor rotate to the next step. For a New Pentagon 5-phase driver, there are 10 full steps in an electrical cycle with 4 phases being ON at any given time. Each full step results in 0.72° of shaft rotation. The 4-phase ON excitation state table is shown in table 1 below. An “H” represents that the MOSFET is active.

Step	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VOHGA	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H
VOHGB	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L
VOHGC	L	L	L	H	H	H	L	L	L	L
VOHGD	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L
VOHGE	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H
VOLA	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L
VOLB	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L
VOLC	H	L	L	L	L	L	L	L	H	H
VOLD	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L
VOLE	L	L	H	H	H	L	L	L	L	L
TIM	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L

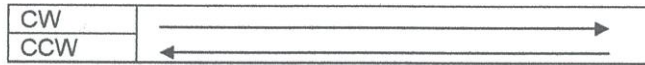


Table 1: 4-Phase ON Full Step excitation

Half stepping, or 0.36°/step, is possible by alternately turning 4-phases ON and then 5 phases ON. The 4~5-phase ON excitation sequence has 20 steps in its electrical cycle and is shown in table 2 below. An "H" represents that the MOSFET is active.

Step	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
VOHGA	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H
VOHGB	L	L	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
VOHGC	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
VOHGD	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L
VOHGE	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L
VOLA	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L
VOLB	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L
VOLC	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H
VOLD	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
VOLE	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
TIM	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
CW	→																			
CCW	←																			

Table 2: 4-5 Phase ON Full Step excitation table

Other functions that are typically included in the sequence generator function include:

- Full or Half step operation selection
- Current Off selection
- State zero (TIM) output indication
- RESET of the driver

## 2. Charge Pump Circuit

The charge pump circuit is used to create a separate, floating supply voltage used by the high side pre-driver that is separate from the motor voltage. A charge pump circuit uses a number of capacitors that act as "buckets" to pump charge from one place to another. In effect, as one capacitor is charged and then switched off, the charge in that capacitor is then fed into the next capacitor to be added to the power supply voltage. This process can be repeated as many times as you would like until the charge stored by the last capacitor equals the value desired.

## 3. High side pre-driver

The high side pre-driver supplies a voltage that is used for driving the MOSFET gate terminal to ensure that the MOSFET will supply the motor voltage to the winding very quickly when turned ON.

## 4. Low side pre-driver

The low side pre-driver supplies a voltage that is used for driving the MOSFET gate terminal to ensure that the MOSFET will connect to ground very quickly when turned ON.

## 5. Motor Constant Current Control Circuit

This circuit compares the voltage in the motor winding to a reference voltage set by the user that represents the desired current in the motor. A chopping circuit is usually used to adjust the power supply to the motor maintain a constant current in the motor winding.

## 6. High side N channel MOSFET array

The drain terminals of these MOSFET's are connected to the + power to be supplied to the motor winding and determine where the voltage will enter the windings.

### 7. Low side N channel MOSFET array

The source terminals of these MOSFET's are tied to GND and determine the path to ground that the voltage will take through the motor windings.

The output circuit diagram for a 5-phase New Pentagon driver is shown in figure 2 below. Simply stated, the 5 transistors shown in the top row determine which motor coils the voltage will enter the motor windings (High side) while the 5 transistors shown in the bottom row determine which motor coils the voltage will flow to ground through.

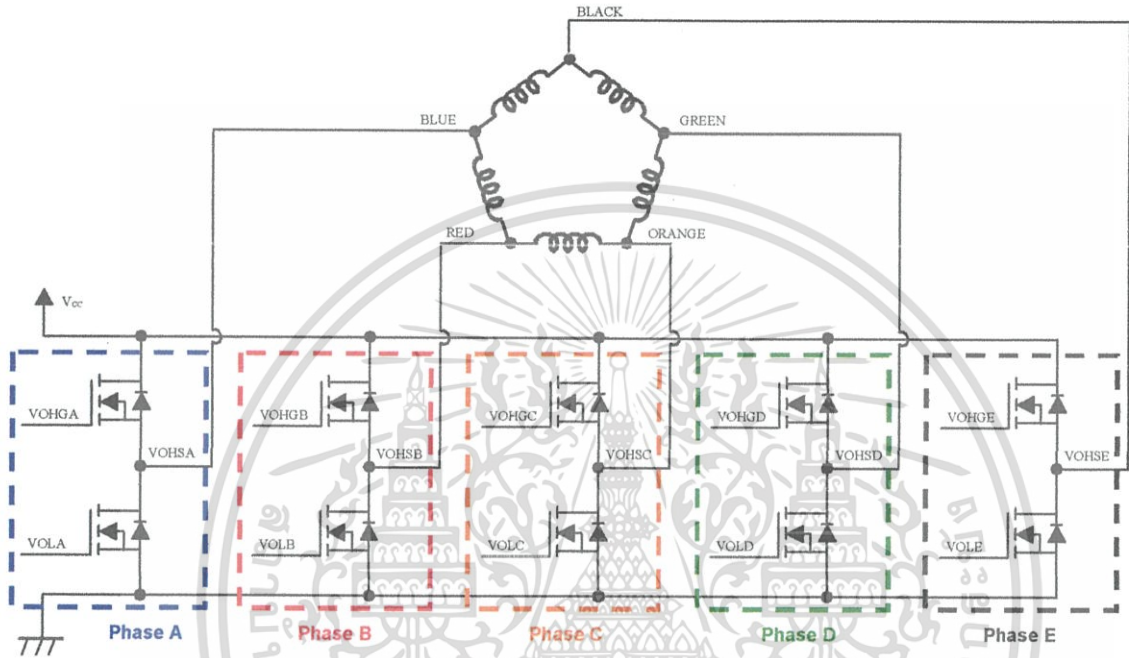


Figure 2: New Pentagon driver output circuit diagram

When the driver is first powered on or reset, the excitation state is set step 0. By referring to excitation state table 1, we can see that current will be flowing through the motor as shown in figure 3. Figures 4 and 5 show the current flow for Full steps 1 and 2, respectively.

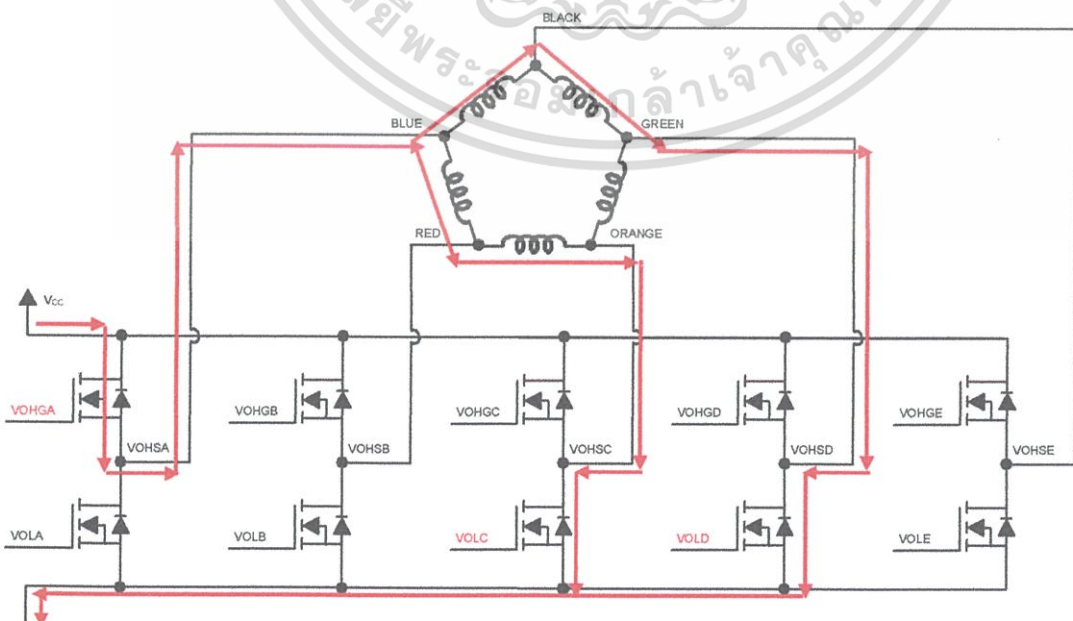


Figure 3: Current flow for Full step "0"



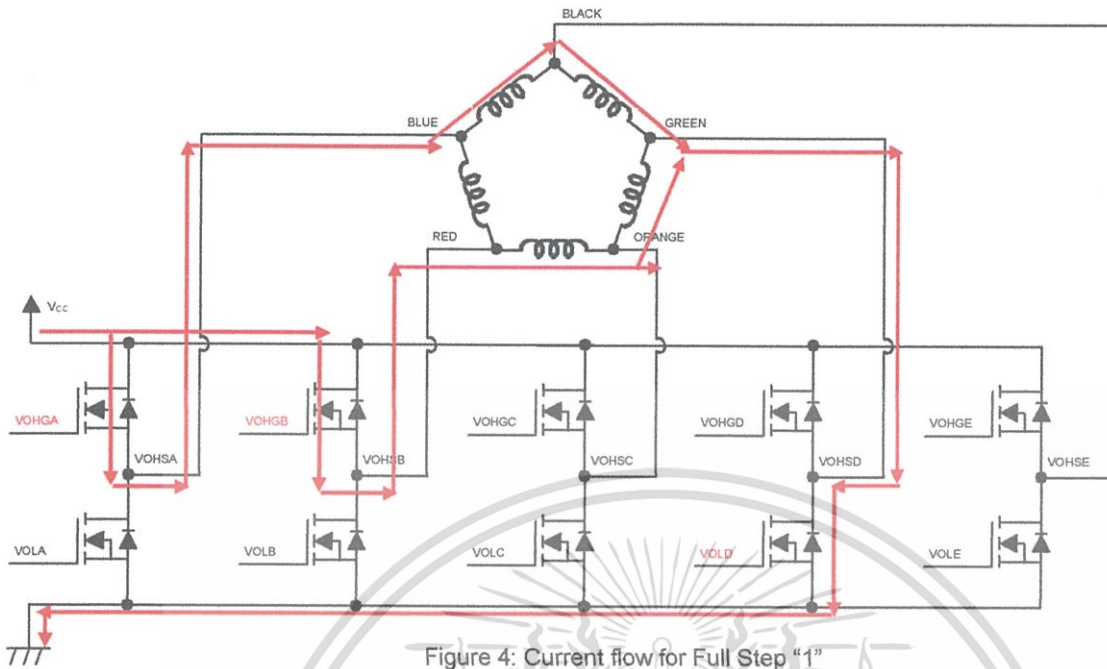


Figure 4: Current flow for Full Step "1"

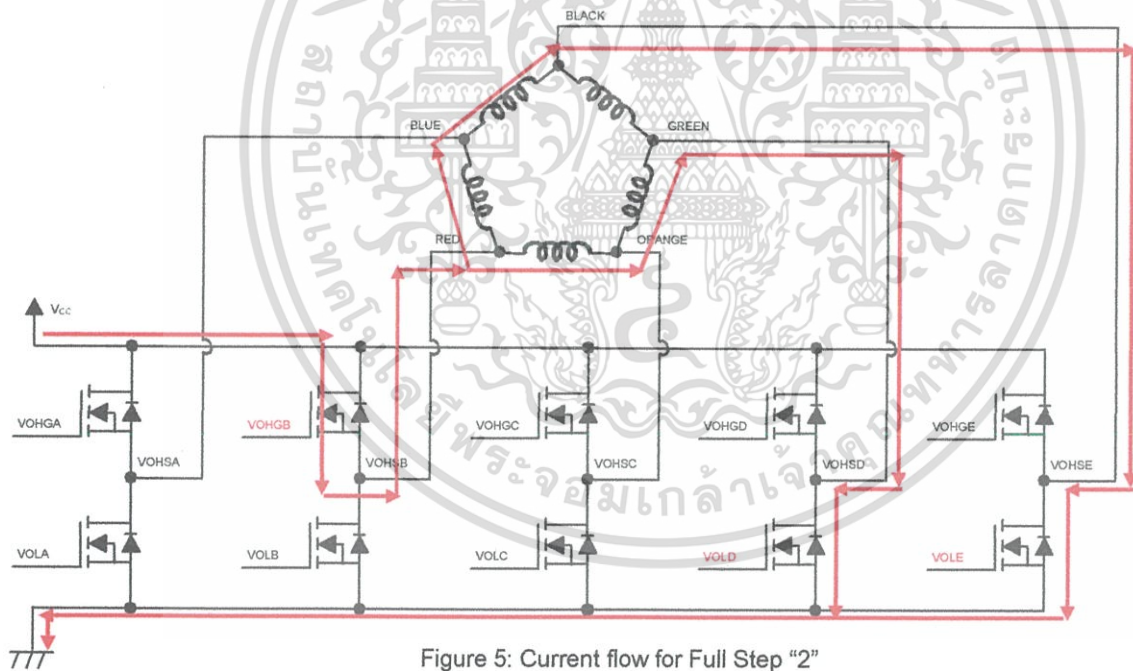


Figure 5: Current flow for Full Step "2"

The current flow for the first three steps of Half stepping mode is shown in figure 6, 7 and 8

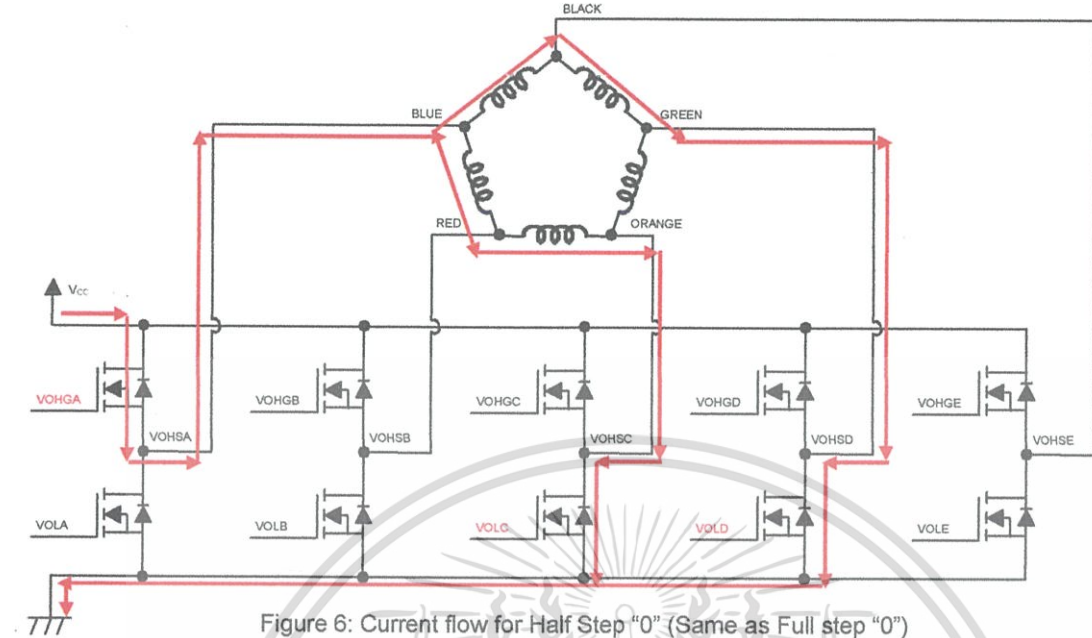


Figure 6: Current flow for Half Step "0" (Same as Full step "0")

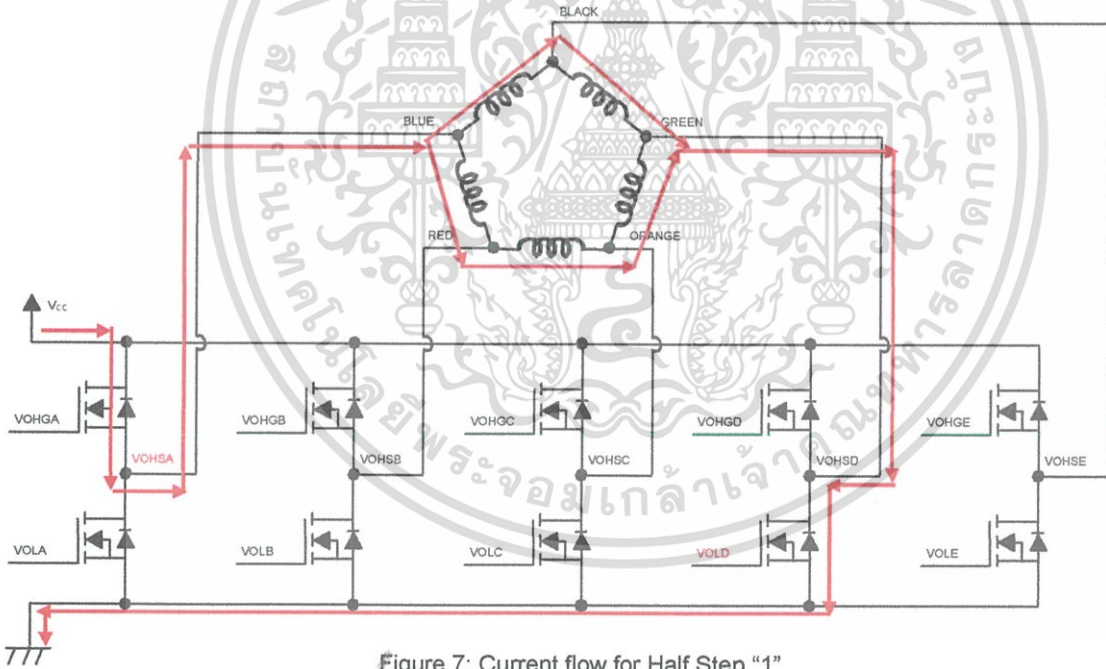


Figure 7: Current flow for Half Step "1"

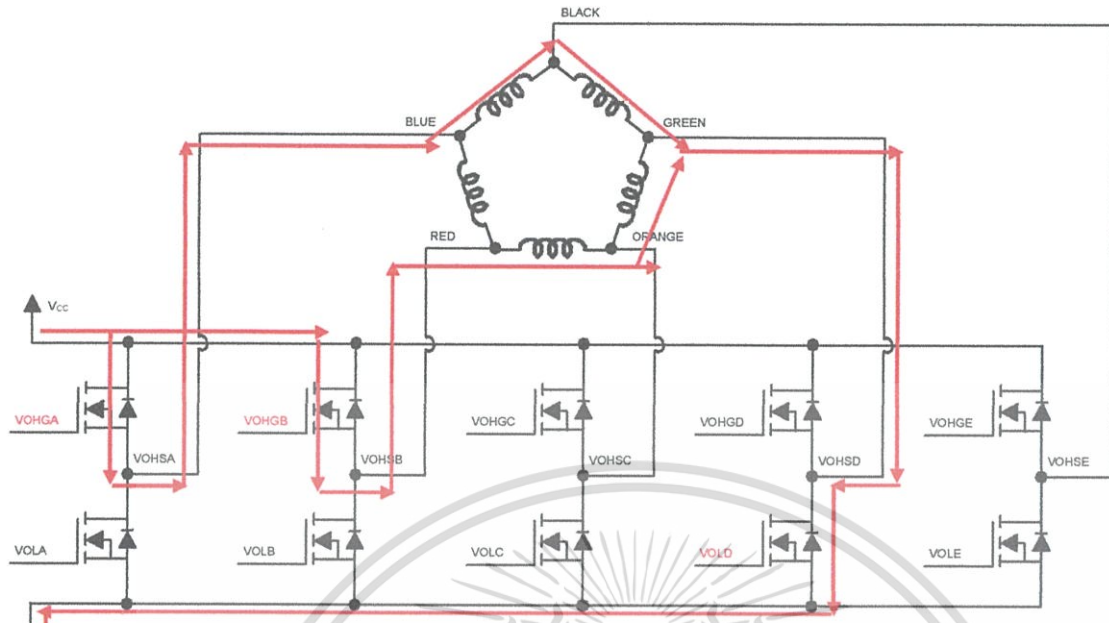


Figure 8: Current flow for Half Step "2" (Same as Full step "1")

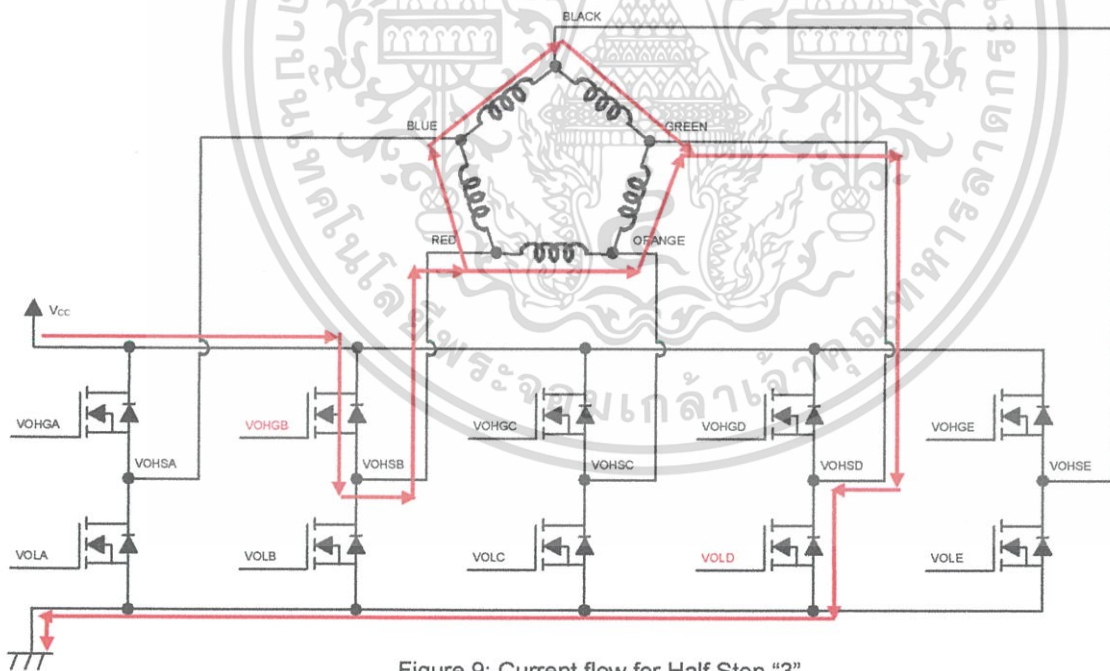


Figure 9: Current flow for Half Step "3"

An example circuit layout for a 5-phase New Pentagon driver is shown in figure 10. This figure shows the interconnections for the peripheral control functions (i.e. step & direction inputs) and typical values for any other components used for the driver circuit.

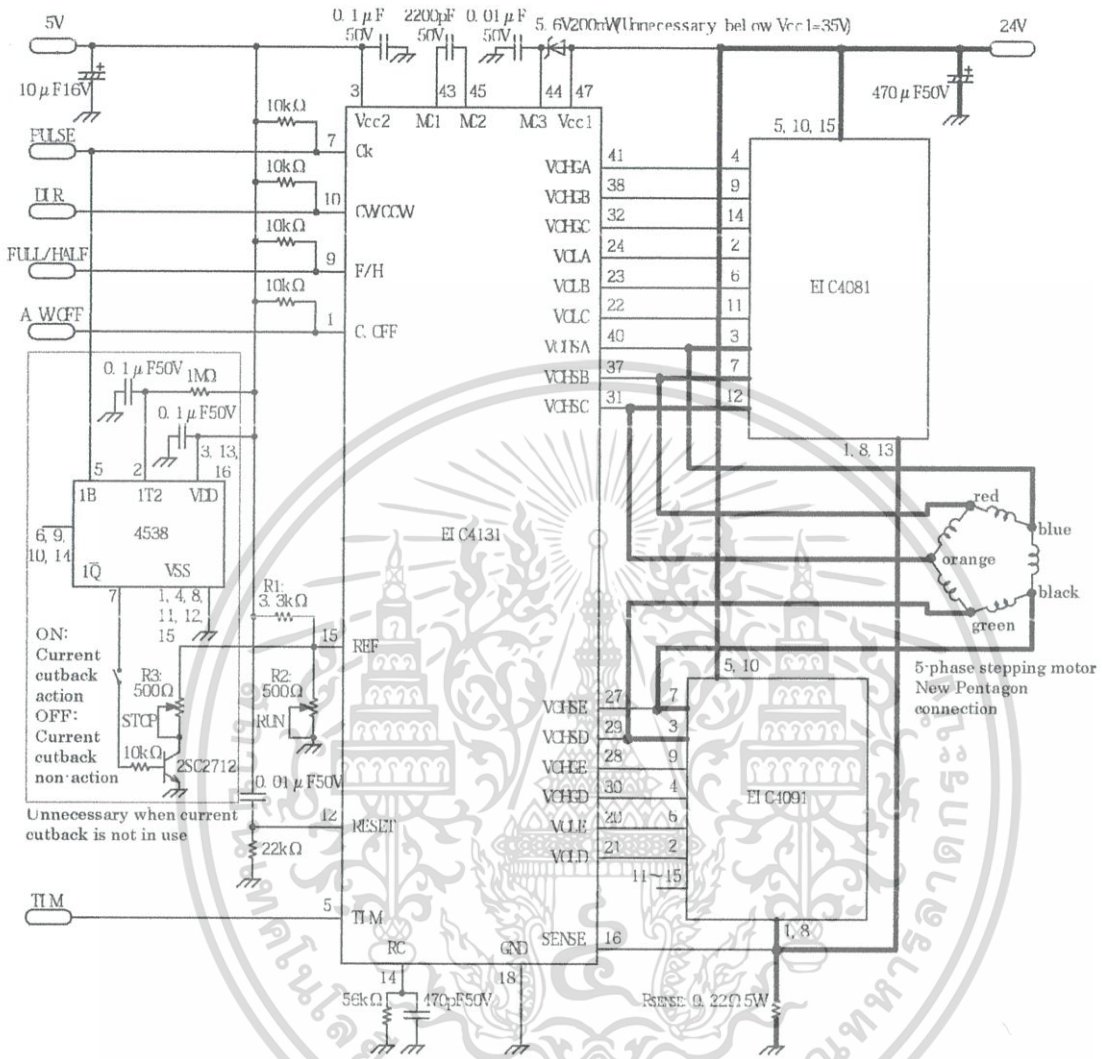


Figure 10: Typical circuit drawing for 5-phase New Pentagon driver

Oriental Motor offers several options for users that would like to integrate a 5-phase New Pentagon driver onto their circuit board designs. One option is an extremely compact (34mm L x 15.8mm W x 30mm H) driver module that can be mounted directly onto a circuit board. The DS Series of on-board drivers contain all of the functions and circuits shown in figure 10 and requires only a 12 ~ 24VDC (2.3A max.) power supply for the motor, an electrolytic capacitor for smoothing any power supply ripple and a 5VDC power supply for the I/O. The drivers are available in 30 pin x 2mm pitch DIP packages and can be either directly soldered or socket (available separately) mounted to a circuit board. Both Full/Half step and microstep versions of the DS drivers are available.

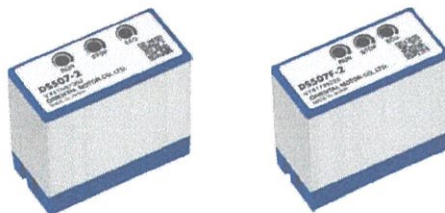


Figure 11: DS Series Drivers

Table 3 describes the different driver options available.

Excitation Mode		Compatible Motor Rated Current (A/phase)
Full/Half Step	Microstep	
DS503-2	DS503F-2	0.35
DS507-2	DS507F-2	0.75
-	DS507FH-2	0.75 (28mm High speed type)
DS514-2	-	1.4 (Except for 85mm)

Table 3: DS Series product lineup

Another option is to use the chip components that are used in Oriental Motor New Pentagon driver designs and integrate them directly into the circuit board design.

Oriental Motor typically uses a 3 chip design to build a driver, as shown if figure 12.

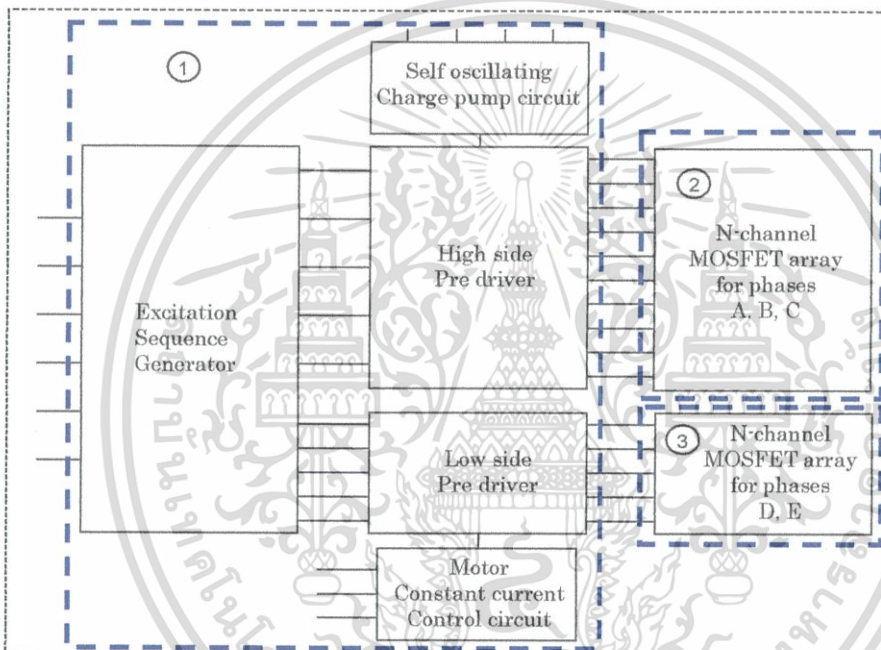


Figure 12: Oriental Motor 5-phase New Pentagon driver ASIC layout

1. **Control IC:** The control IC performs/includes the following functions:
  - a. A Full/Half step sequence generator
  - b. A self-oscillating charge pump circuit
  - c. A High side pre-driver
  - d. A Low side pre-driver
  - e. A Motor constant current control circuit
  - f. Logic for TIMing output
  - g. Logic for All Windings Off function

This chip is available in two versions: a 30 pin DIP package and a 48 pin surface mount (QFP) package

2. **N-channel MOSFET Array for phases A, B, C:** This chip contains 6 of the 10 MOSFET's (each phase requires two MOSFET's) required for the output circuit. This chip controls phases A, B and C. Two versions of this chip are available, depending on the current per phase rating of the motor being used.
3. **N-channel MOSFET Array for phases D, E:** This chip contains 4 of the 10 MOSFET's (each phase requires two MOSFET's) required for the output circuit. This chip controls phases D and E.

Two versions of this chip are available, depending on the current per phase rating of the motor being used.

Control IC Part #	Mounting type	Motor Current Rating (A/phase)
EIC4101	0.35, 0.75, 1.4, 2.8	30 pin DIP
EIC4131		48 pin QFP

Table 4: Control IC product lineup

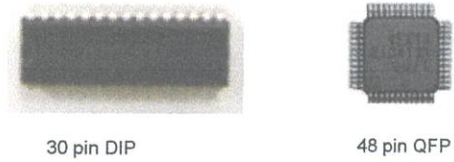


Figure 13: Control Logic IC's

MOSFET Array Part #	Function	Motor Current Rating (A/phase)	Mounting Type
EIC4081	A, B, C Phase MOSFETS	0.35, 0.75, 1.4 (A/phase)	15 pin SIP with heatsink fin
EIC4091	D, E Phase MOSFETS		
EIC4111	A, B, C Phase MOSFETS	2.8 (A/phase)	
EIC4121	D, E Phase MOSFETS		

Table 5: MOSFET Array IC product lineup

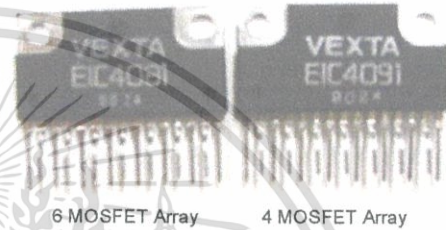


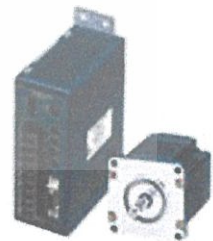
Figure 14: MOSFET Array IC's

For more information on the DS Series of on-board drivers or the lineup of integrated circuit chips, please contact your local Oriental Motor sales office.

Oriental Motor also offers complete motor and driver systems that offer guaranteed performance with minimal effort required from the user. These matched motor and driver packages include all of the functions described above, plus many more options and features such as microstepping and built-in pulse generators. A brief description of the 5-phase motor and driver packages that are available is provided below for your reference.

For higher speed and load applications, an AC power input drive will most likely be required. For these applications, the [RK Series](#) Microstep driver would be the best choice. The [RK Series](#) offers:

- Single-Phase 100~115 VAC or Single-Phase 200~230 VAC power input, both complying with international safety standards (UL/CSA and EN) along with RoHS.
- Smooth Drive Function which ensures low-vibration and low-noise operation at low speeds by internally executing microstepping within the driver, working independently of the input pulse frequency of your controller.
- Microstep Drive capability with the ability to divide the basic step angle of the motor up to 250 times offering a maximum resolution of 125,000 steps per revolution.
- Available for 5-phase motors with a current rating of up to 1.4A/phase.
- Shaft speeds in excess of 4000 rpm can be attained.
- For use with 5-phase stepping motors that have the New Pentagon winding configuration.



The RK Series driver can be mounted in a control panel with other equipment and only requires steps and direction inputs to make the motor move.

More details and information about the RK Series can be found online by clicking [here](#).

For applications where the speed and/or torque requirements are not so high, a DC voltage input driver can be used. Oriental Motor currently offers 5 DC input driver options to suit your needs.

Created by Nick Johantgen on 6/1/10

File: C:\Documents and Settings\Fernandod.OMUSA\Local Settings\Temporary Internet Files\OLKAA\BuildingA5PhaseDriver\_wDriverOptions.doc

Printed on 6/14/2010, Page 10 of 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If your application requires the driver to be able stand alone and control the motion by itself, the [CRK Series with Built-in Controller](#) should suit your needs. The [CRK Series with Built-in Controller](#) offers many features including:

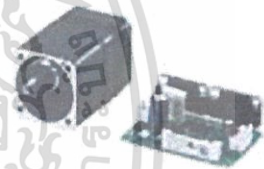
- 24VDC input with EN (Low Voltage Directive) and RoHS compliance.
- Microstep Drive capability with the ability to divide the basic step angle of the motor up to 250 times offering a maximum resolution of 250,000 steps per rev (with 0.36° basic step angle motor).
- 5-phase microstepping offers lower vibration and noise compared to conventional motor systems.
- Compact microstep driver with a powerful, feature-rich controller built-in.
- Supports stand alone or RS-485 communications with multi-drop capability for network operation and I/O control.
- 11 dedicated function (e.g. Start, Abort, Home) inputs.
- 6 programmable inputs.
- 2 dedicated function (e.g. Move, Alarm) outputs.
- 4 programmable outputs.
- Encoder feedback capability.
- Compact microstep driver/controller is 35mm W x 70 D x 100mm H
- For use with 5-phase stepping motors that have the New Pentagon winding configuration.



More details and information about the RK Series can be found online by clicking [here](#).

The [CRK Series](#) 5-phase microstepping driver would be the choice when a separate pulse generator or controller is going to be used.

- 24VDC input with EN (Low Voltage Directive) and RoHS compliance.
- The Smooth Drive Function automatically controls operations via microstep drive at the same travel distance and speed used in the full-step mode, without requiring the operator to change the pulse input settings. This function is particularly useful when the CRK Series is used in full-step or half-step mode.
- Photocoupler inputs.
- 5-phase microstepping offers lower vibration and noise compared to conventional stepping motor systems.
- Enables 5-phase performance to be used in existing 2-phase systems.
- Microstep Drive capability with the ability to divide the basic step angle of the motor up to 250 times offering a maximum resolution of 250,000 steps per revolution (with 0.36° basic step angle motor).
- This compact microstep driver is 65mm W x 45 D x 25mm H
- For use with 5-phase stepping motors that have the New Pentagon winding configuration.



More details and information about the CRK Series can be found online by clicking [here](#).

#### Author

Nick Johantgen  
North American Technical Product Manager  
Oriental Motor USA Corp.

# 5-phase Stepper Motor Pentagon Connection Driver ICs

## SI-7502 SLA5011 SLA6503

### ■ Absolute maximum ratings

(Ta = 25°C)

Type No.	Parameter	Symbol	Ratings	Unit
SI-7502	Motor supply voltage	V <sub>CC</sub>	44	V
	Auxiliary supply voltage	V <sub>S</sub>	15	V
	Control voltage	V <sub>b</sub>	7	V
	Reference voltage	V <sub>ref</sub>	1.5	V
	Detected voltage	V <sub>RS</sub>	5	V
	Power dissipation	P <sub>D</sub>	1	W
	Ambient operating temperature	T <sub>OP</sub>	0 to +65	°C
SLA5011	Drain source voltage	V <sub>DSS</sub>	60	V
	Drain current	I <sub>D</sub>	±5	A
	Avalanche energy proof quantity (Single pulse)	E <sub>AS</sub>	2	mJ
	Power dissipation	P <sub>T</sub>	35	W
	Channel temperature	T <sub>ch</sub>	150	°C
	Storage temperature	T <sub>stg</sub>	-40 to +150	°C
SLA6503	Collector-Base voltage	V <sub>CB0</sub>	-60	V
	Controller-Emitter voltage	V <sub>CE0</sub>	-60	V
	Emitter-Base voltage	V <sub>EB0</sub>	-6	V
	Collector current	I <sub>c</sub>	-3	A
	Collector current (Pulse)	I <sub>c</sub> (pulse)	-6	A
	Base current	I <sub>b</sub>	-1	A
	Power dissipation	P <sub>T</sub>	35	W
	Junction temperature	T <sub>J</sub>	150	°C
Storage temperature	T <sub>stg</sub>	-40 to +150	°C	

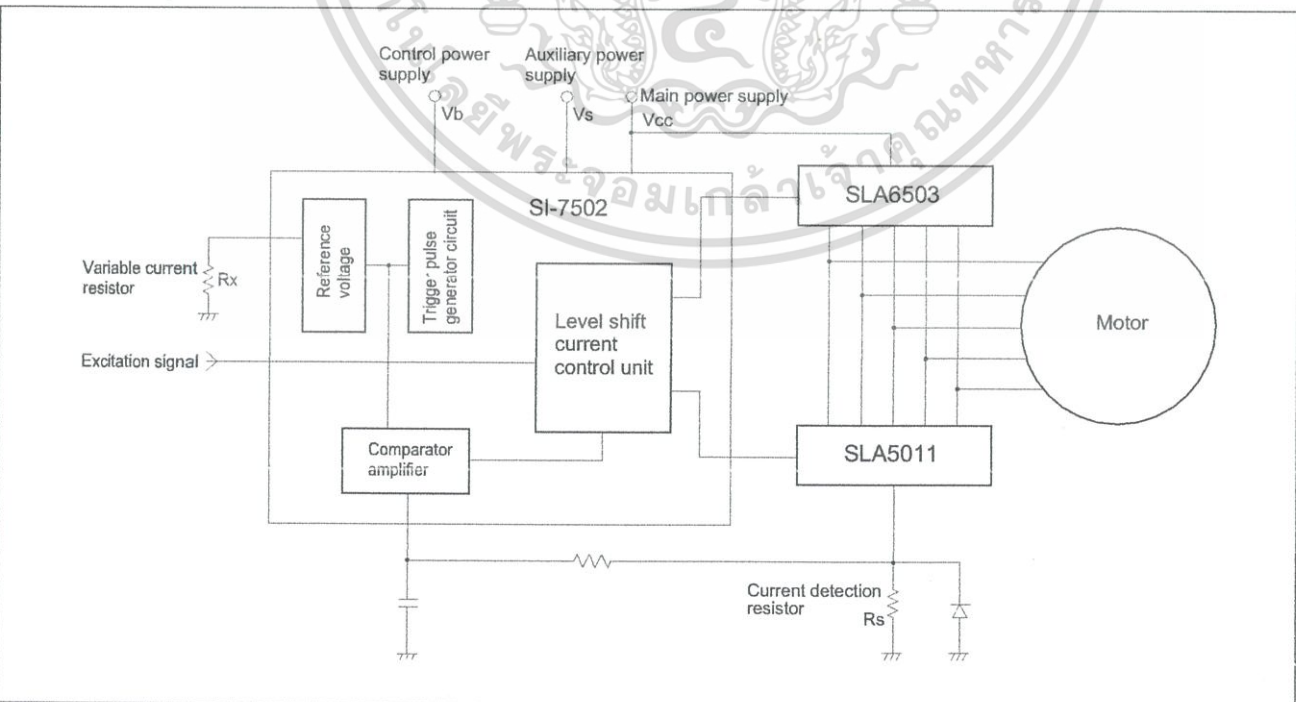
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SI-7502, SLA5011 and SLA6503

## Electrical characteristics

Type No.	Parameter	Symbol	Limit			Unit	Condition
			min	typ	max		
SI-7502	Supply current	$I_{CC}$			40	mA	$V_{CC} = 42V, V_b = 5.5V$
		$I_S$			12.5	mA	$V_S = 12.4V$
		$I_b$			50	mA	$V_b = 5.5V$
	Input current	$I_{IU-L}, I_{IL-L}$			1.6	mA	$V_{IU} = V_{IL} = 0.4V$
	Upper drive circuit drive current	$I_{OU-on}$	8		11	mA	$V_b = 5V, A_{IU}$ to $E_{IU}$ pin open
		$I_{OU-off}$			10	$\mu A$	$V_b = 5V$
	Lower drive circuit voltage	$V_{OL-on}$	$V_S - 1.5$			V	$V_b = 5V, A_{IL-EIL}$ pin open
		$V_{OL-off}$			1.5	V	$V_b = 5V$
Oscillation frequency	F	20		30	kHz	$V_b = 5V$	
Detected current	$V_{RS}$	0.8		1.05	V	$V_b = 5V, V_{ref}$ pin	
SLA5011	Gate threshold voltage	$V_{TH}$	2.0		4.0	V	$V_{DS} = 10V, I_D = 250\mu A$
	Current transmission conductance	$Re(y_{fs})$	2.2	3.3		S	$V_{DS} = 10V, I_D = 5A$
	DC ON-resistance	$R_{DS(ON)}$		0.17	0.22	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5A$
	Input capacity	$C_{ISS}$		300		pF	$V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz,$
	Output capacity	$C_{OSS}$		160		pF	$V_{GS} = 0V$
	Di forward voltage between source and drain	$V_{SD}$		1.1	1.5	V	$I_{SD} = 5A$
	Di reverse recovery time between source and drain	$t_{rr}$		150		ns	$I_{SD} = \pm 100mA$
SLA6503	Collector cut-off current	$I_{CBO}$			-10	$\mu A$	$V_{CB} = -60V$
	Collector emitter voltage	$V_{CEO}$	-60			V	$I_C = -10mA$
	DC current gain	$h_{FE}$	2000				$V_{CE} = -4V, I_C = -3A$
	Collector emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$			-1.5	V	$I_C = -3A, I_b = -6mA$

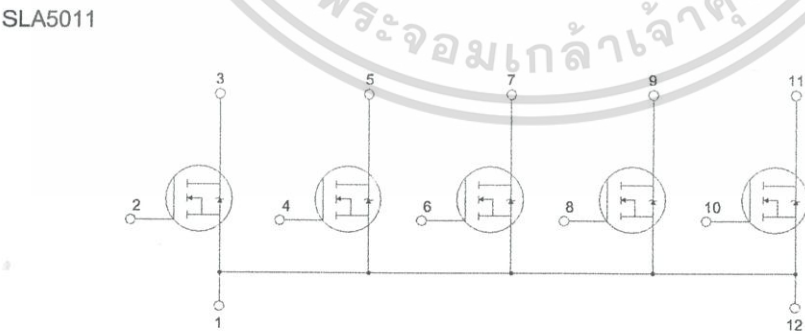
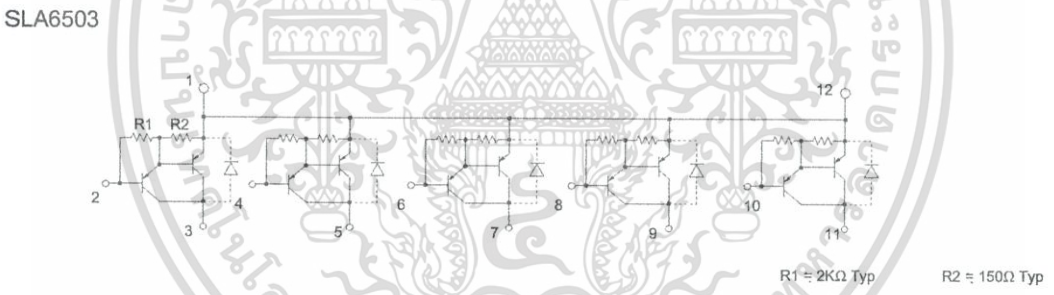
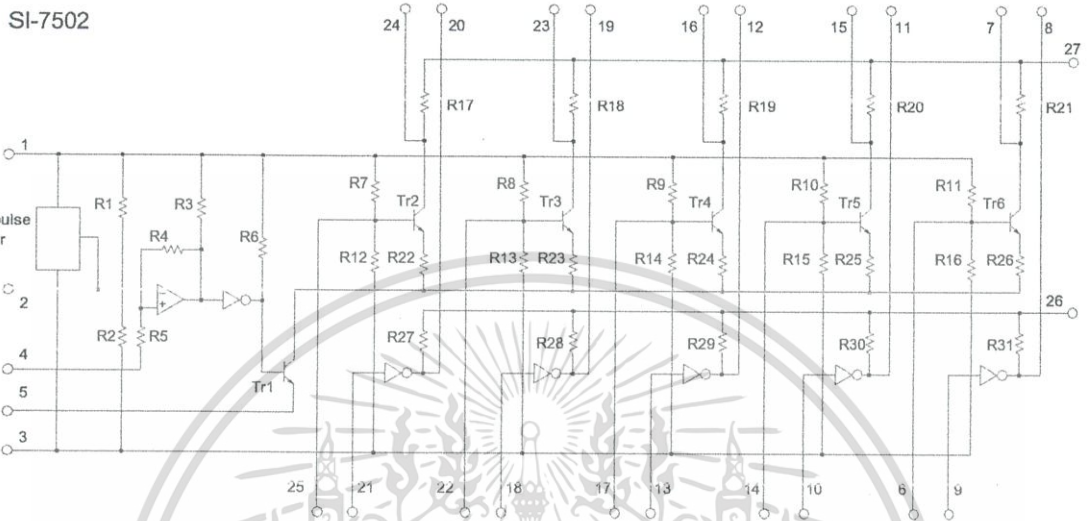
## Block diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SI-7502, SLA5011 and SLA6503

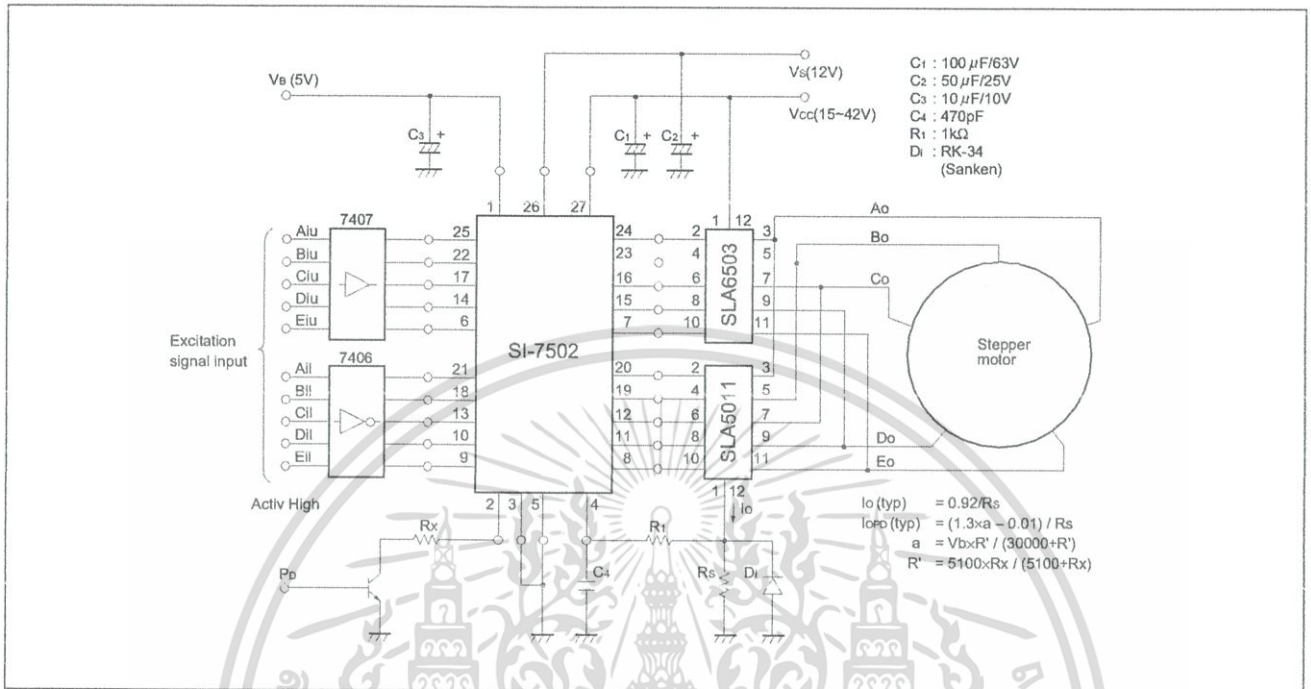
## ■ Equivalent circuit diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SI-7502, SLA5011 and SLA6503

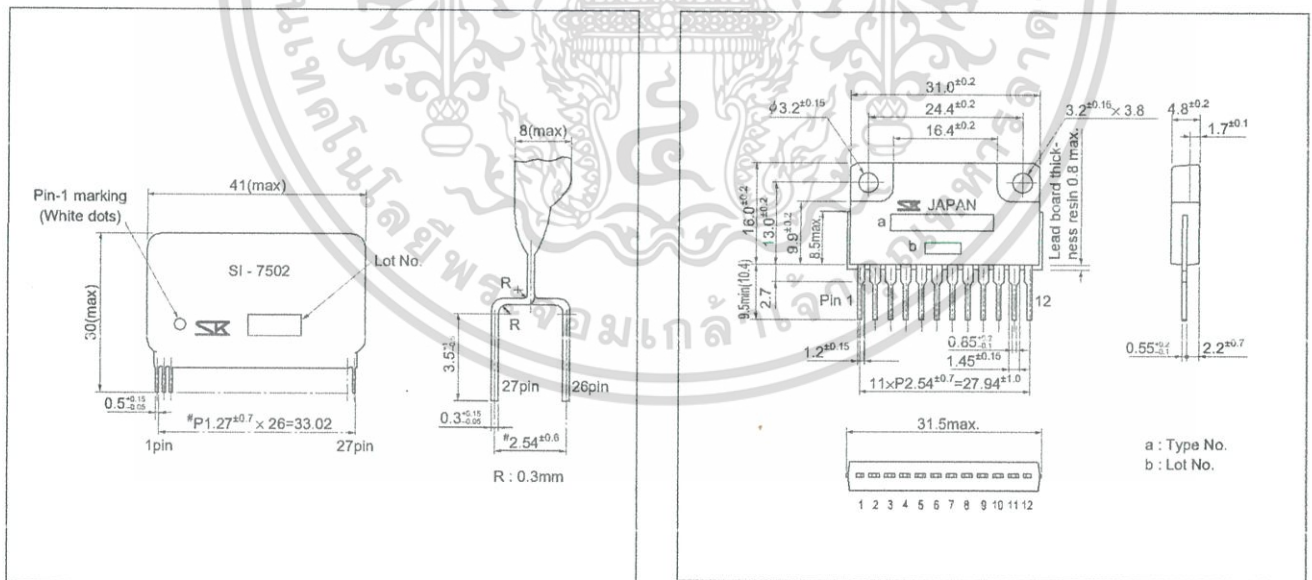
## External connection diagram



## External dimensions (Unit: mm)

SI-7502

SLA6503/SLA5011



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Application Note**

**■ Determining the output current  $I_o$  (motor coil current)**

The main elements that determine the output current are Current detection resistor  $R_s$ , Supply voltage  $V_b$ , and Variable current resistor  $R_x$ .

(1) Normal mode

To operate a motor at maximum current level, set  $R_x$  to infinity (open).

From Fig. A, when the maximum output current ripple is designated as  $I_{OH}$ , its value will be,

$$I_{OH} = \frac{V_{RSH}}{R_s} \quad \text{..... [A]}$$

$V_{RSH}$  can be computed as follows:

$$V_{RSH} = 0.19 \times V_b - 0.03 \text{ (center value) ..... [B]}$$

From equations [A] and [B], the output current  $I_{OH}$  can be computed as follows:

$$I_{OH} = \frac{1}{R_s} (0.19 \times V_b - 0.03)$$

The relationship between  $I_{OH}$  and  $R_s$  is shown in Fig. B.

(2) Power down mode

When an external resistor  $R_x$  is connected,  $V_{RSH}$  changes as shown in the Fig. C even when  $R_s$  is retained. Obtain the power down output current  $I_{OHPD}$  from Fig. C and equation [A].

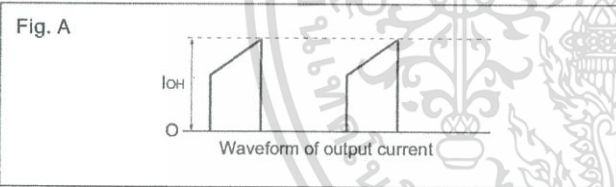


Fig. B Output current vs. Current detection resistor

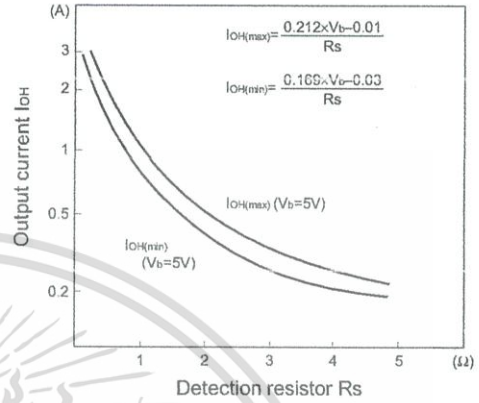
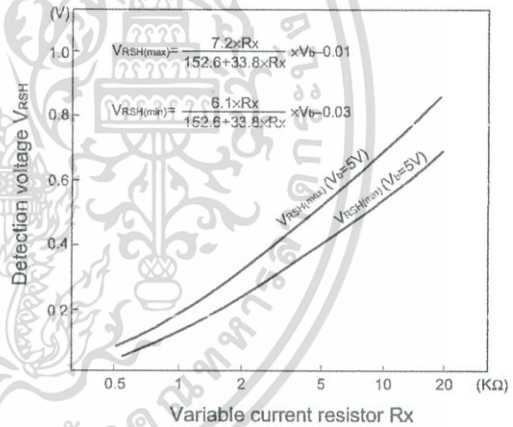


Fig. C Detection voltage vs. Variable current resistor



**■ Relation between Output Current  $I_o$  (Control Current) and Motor Winding Current  $I_{OM}$**

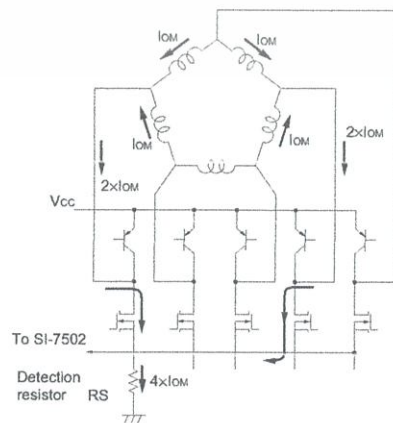
The SI-7502 adopts the total current control system; therefore, the output current  $I_o$  is different from the motor winding current. In a general pentagonal driving system, the current flows as shown in Figure D. The relation between  $I_o$  and  $I_{OM}$  is as follows:

$$I_o = 4 \times I_{OM}$$

The following relation is obtained depending on driving systems:

$$I_o = 2 \times I_{OM}$$

Fig. D Coil current flow at pentagonal driving



## SI-7502, SLA5011 and SLA6503

### ■ Motor connection

The 5-phase stepping motor supports various driving systems and the motor connection varies depending on those driving systems.

In some driving systems, the use of the motor may be restricted by patents. Therefore, be sure to ask the motor manufacturer about the motor connection and driving system to be used.

### ■ Thermal design

The driver (SLA5011/SLA6503) dissipation varies depending on a driving system to be used even if those output currents (control current) are the same. Therefore, measure the temperature rise of the driver under the actual operation conditions and determine the size of heatsink.

Figure E shows an SLA5011/SLA6503 derating curve. This derating curve indicates  $T_j = 150^\circ\text{C}$ ; however, before using this device, set a margin and select a heatsink so that  $T_c < 100^\circ\text{C}$  (Al FIN temperature on the back of the SLA) is obtained.

Fig. E SLA5011/SLA6503 Derating curve

