

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เป็นพิมพ์ระบบสัมผัสโดยผลิตด้วยโซอิเล็คทริก

PIEZOELECTRIC TOUCH SCREEN KEYPAD



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

117469

5 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็คทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

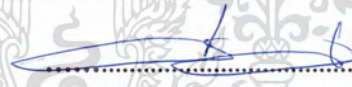
เรื่อง แป้นพิมพ์ระบบสัมผัสโดยผลึกเพียโซอิเล็กทริก

(PIEZOELECTRIC TOUCH SCREEN KEYPAD)

ผู้จัดทำ

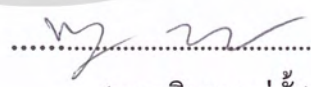
1. นายบัณฑิต เอี่ยมสะอาด รหัสนักศึกษา 50010848
2. นายบูรินทร์ เทพสงวน รหัสนักศึกษา 50010865
3. นางสาวอุททยา รุ่งกาญจนามพร รหัสนักศึกษา 50011326





.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สุวิภณ สมควรพาณิชย์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ชนิษฐา แซ่ตั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เป็นพิมพ์ระบบสัมผัสโดยผลึกเปียโซอิเล็กทริก

(PIEZOELECTRIC TOUCH SCREEN KEYPAD)

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. นายบัณฑิต เอี่ยมสะอาด | รหัสนักศึกษา 50010848 |
| 2. นายบูรินทร์ เทพสงวน | รหัสนักศึกษา 50010865 |
| 3. นางสาวอุททยา รุ่งกาญจนพร | รหัสนักศึกษา 50011326 |



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สุริภณ สมควรพาณิชย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ชณิษฐา แซ่ตั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้นพิมพ์ระบบสัมผัสโดยผลึกเปียโซอิเล็กทริก

นายบดินทร์	เอี่ยมสอาด	50010848
นายบุรินทร์	เทพสงวน	50010865
นางสาวอุทธิยา	รุ่งกาญจนานพร	50011326
รศ.ดร.สุริภณ	สมควรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.พนิชฐา	แซ่ตั้ง	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานผลึกเปียโซอิเล็กทริก จากคุณสมบัติการเปลี่ยนแรงกดทางกลเป็นแรงดันไฟฟ้า นำมาหาพิภัก 2 แกนของแรงกระทำบนระนาบสี่เหลี่ยมที่วางไว้ที่มุมทั้ง 4 ค่าแรงกระทำที่จุดต่างๆ จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าผ่านผลึกเปียโซอิเล็กทริก จากนั้นสัญญาณจากตัวตรวจจับทั้ง 4 จะถูกนำมาขยายด้วยวงจรขยาย ก่อนที่จะนำสัญญาณเข้าคอนโทรลเลอร์ซึ่งในที่นี้ใช้ Arduino board เป็นตัวประมวลผลหาพิภัก แกน X แกน Y บนระนาบ และเก็บข้อมูลของการวัด ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากครั้งอื่นๆ เพื่อพิจารณาถึงความเปลี่ยนแปลง และกำหนดตำแหน่งการกดแป้นพิมพ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแป้นพิมพ์ระบบสัมผัส

PIEZOELECTRIC TOUCH SCREEN KEYPAD

Mr.Bodin	Iamsad	50010848
Mr.Burin	Thepsa-nguan	50010865
Miss Rittaya	Rungkanjanaporn	50011326
Assoc. Prof. Dr. Suripon Somkuarnpanit	Advisor	
Assoc. Prof. Khanittha Saetung	Advisor	
Academic Year 2010		

Abstract

This thesis is the application of piezoelectric sensor. The property changing mechanical pressure to voltage of piezoelectric can use to find position of pressure appear on couple surface. And we translate it in to X/Y coordinates by coupling the piezoelectric at 4 corners. The 4 Piezoelectric sensors change touching pressure in to voltage. The four signals are amplified, and then this signals sent to Aduino Board controller for compute X/Y coordinates on the surface. The controller collect this data to compare the old data for consider of changing. This project is using for apply to touch screen keypad.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำรายงานฉบับนี้ สำเร็จลงได้โดยได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร.สุริภณีสมากรพาณิชย์ และรศ.ขนิษฐา แซ่ตั้ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำโครงการการประยุกต์ใช้งานผลิตภัณฑ์ไอซีเอเล็กทรอนิกส์ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 เทคโนโลยีระบบสัมผัส	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 ส่วนประกอบหลัก	2
2.1 ความเป็นเปียโซอิเล็กทริก	2
2.2 ปฏิกิริยาของเปียโซอิเล็กทริก	3
2.3 ปฏิกิริยาของเปียโซอิเล็กทริกและการตรวจจับ	5
2.4 ลักษณะการปฏิบัติตัวของเปียโซอิเล็กทริก	8
2.4.1 ซิมเปลเพลท	8
2.4.2 มัลติเพลท อาร์เรจเมนท์	8
2.5 ลักษณะของเปียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์	8
2.5.1 ความไวของประจุ	8
2.5.2 วงจรอินทิเกรต	8
2.6 ผลการตอบสนองชั่วขณะ	9
2.6.1 ผลตอบสนองของวงจรเปียโซอิเล็กทริกต่อสัญญาณชั่วขณะ	9
2.6.2 ผลตอบสนองต่อเช็คโหลด	11
2.7 การสั้นสะพาน	13
2.7.1 ประเภทของการสั้นสะพาน	13
2.7.1.1 การสั้นสะพานแบบอิสระ	13
2.7.1.2 การสั้นสะพานแบบถูกกระตุ้น	13
2.8 Arduino board	14
2.8.1 จุดเด่นของ Arduino board	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8.2 คุณสมบัติของ ET-Base AVR EASY328	15
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้างวงจร	17
3.1 ฮาร์ดแวร์	17
3.1.1 อุปกรณ์ที่ยังสัญญาณสำหรับวัดการสั่นสะเทือน	17
3.1.2 ส่วนที่ใช้รับแรงสั่นสะเทือน	18
3.1.3 ส่วนของวงจรแหล่งจ่ายไฟ	19
3.1.4 ส่วนแปลงสัญญาณแรงสั่นสะเทือนเป็นแรงดันไฟฟ้า	19
3.2 ซอร์ฟแวร์	22
3.2.1 ส่วนการคำนวณหาตำแหน่งของแรงสั่นสะเทือน	22
3.2.2 ส่วนของภาษาที่ใช้คำนวณหาตำแหน่งแรงสั่นสะเทือน	23
3.2.3 Flow chart การทำงานในส่วนของโปรแกรม	28
3.3 การเปรียบเทียบฐานแบบต่างๆ	30
3.3.1 ฐานแบบที่ 1	30
3.3.2 ฐานแบบที่ 2	31
3.3.3 ฐานแบบที่ 3	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิธีการทดลอง	36
4.1 วิธีการทดลอง	36
4.2 ผลการทดลอง	37
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	39
5.3 ปัญหาและแนวทางการพัฒนาต่อ	39
เอกสารอ้างอิง	40

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 แสดงรูปครอบครัวตระกูล Curie	1
2.2 แสดงรูปการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของ BaTiO ₃	4
2.3 แสดงปรากฏการณ์ Piezoelectricity	4
2.4 (a) แสดงภาพจำลอง electric dipoles ในวัสดุ piezoelectric	5
(b) เป็นการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุถูกกดอัด	5
(c) เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อวัสดุถูกใส่ความต่างศักย์เข้าไป	5
2.5 แสดงผลึกควอตซ์และการตัด	7
2.6 แสดงวงจรชาร์จแอมพลิไฟเออร์ที่อยู่ในกรอบเส้นปะ	9
2.7 แสดงผลตอบสนองของชาร์จแอมพลิไฟเออร์ต่อสัญญาณอินพุต	10
(a) เฟลตัสชั่วคราว (Transient pulse)	10
(b) อนุพันธ์ของเฟลตัส (Derivative of pulse)	10
(c) แรงดันขาออก (Output voltage)	10
2.8 แสดงการทดสอบชาร์จแอมพลิไฟเออร์โดยสัญญาณห็อก	11
(a) วงจรทดสอบ (Test Circuit)	11
2.9 แสดงการทดสอบชาร์จแอมพลิไฟเออร์โดยสัญญาณกระแทก	12
(b) รูปแบบคลื่นของแรงดันด้านเข้า (input voltage waveform)	12
2.10 แสดงเอาต์พุตของชาร์จแอมพลิไฟเออร์	12
(a) แบบผลตอบสนองล็อคอัพ (Lock-up Response)	12
(b) แบบผลตอบสนองเทรคกิ้ง (Tracking Response)	12
2.11 แสดงเอาต์พุตของชาร์จแอมพลิไฟเออร์	13
(c) แบบผลตอบสนองของฟิลเตอร์ 10 Khz	13
2.12 แสดงรูปตัวอย่าง Arduino board	14
3.1 แสดงขนาดของส่วนประกอบของอุปกรณ์หยังสัญญาณ	18
3.2 แสดงตำแหน่งในการวางเปียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์	18
3.3 แสดงรูปวงจรแหล่งจ่ายไฟ	19
3.4 แสดงรูปวงจรส่วนรับสัญญาณ	19

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.5 แสดงรูปสัญญาณที่ออกหลังจากผ่านตัวเปียโซอิเล็กทริก	19
3.6 แสดงรูปสัญญาณหลังจากผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์	20
3.7 แสดงรูปสัญญาณหลังจากผ่านวงจรแอมพลิไฟเออร์	20
3.8 แสดงรูปสัญญาณหลังจากผ่านวงจรพีคดีเทคเตอร์	21
3.9 แสดงเปียโซอิเล็กทริกเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวต่อเข้ากับ Arduino Board	22
3.10 แสดงตำแหน่งการวางเปียโซอิเล็กทริกทั้ง 4 ตัว	23
3.11 แสดงฐานเปียโซอิเล็กทริกแบบที่ 1	30
3.12 แสดงฐานเปียโซอิเล็กทริกแบบที่ 2	31
3.13 แสดงฐานเปียโซอิเล็กทริกแบบที่ 3	34
3.14 แสดงการประกอบส่วนต่างๆของฐานวางเปียโซอิเล็กทริก	35
4.1 แสดงพื้นระนาบที่มีการแบ่งช่องและระบุตำแหน่ง	36

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงค่าคงที่ของเป็ย โซอิล็กทริก	6
2.2 แสดงการหาความผิดพลาดจาก T (time constant)	11
3.1 แสดงระดับแรงดันที่เป็ย โซอิล็กทริกจ่ายและตำแหน่งหลังการคำนวณ	31
4.1 แสดงตารางแสดงระดับแรงดันที่เป็ย โซอิล็กทริกจ่าย และตำแหน่งหลังการคำนวณ	37



บทที่ 1

เทคโนโลยีระบบสัมผัส

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสัมผัสได้เข้ามามีส่วนร่วมในชีวิตประจำวัน และอุตสาหกรรมมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การคีย์ข้อมูลที่เป็นจำนวนตัวเลข หรือการจำหน่ายสินค้าตามห้างสรรพสินค้า โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้ได้ผลิตเทคโนโลยีระบบสัมผัสที่ใช้ต้นทุนที่สูง และในอุตสาหกรรมหนึ่งๆนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องที่มีระบบเทคโนโลยีเช่นนี้เป็นจำนวนมากซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง ดังนั้นจึงมีผู้ที่คิดหาวิธีการลดต้นทุนการผลิตนี้กันมากขึ้น

โครงการนี้จึงเสนอแนวทางในการลดต้นทุนการผลิต โดยการนำเปียโซอิเล็กทริกมาใช้เป็นกุญแจสำหรับทดสอบความสั้นสะเทือน โดยใช้คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนแรงที่กระทำบนตัวของมันเป็นแรงดันไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้ทำระบบสัมผัสสำหรับโครงการนี้ได้

1.2 ขอบเขตของโครงการ

เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของผลึกเปียโซอิเล็กทริก รวมทั้งออกแบบและสร้างชิ้นงานที่ใช้ในการหาพิคต 2 แกนของแรงกระทำบนระนาบสี่เหลี่ยม แล้วทำการออกแบบเครื่องจับสัญญาณและบันทึกค่าที่ได้จากเปียโซอิเล็กทริก และอินเตอร์เฟสกับ Arduino จากนั้น เขียนโปรแกรมการประมวลผลหาพิคต แกน X แกน Y บนระนาบ โดยใช้ Arduino Board

บทที่ 2

ส่วนประกอบหลัก

2.1 ความเป็นปียโซอิเล็กทริก

ในปี ค.ศ.1880มีการค้นพบว่าวัสดุบางกลุ่มมีสภาพปียโซอิเล็กทริกโดย Pierre and Jacques Curie ได้ทำการทดลองครั้งแรกเกี่ยวกับความสัมพันธ์ปรากฏการณ์ปียโซอิเล็กทริกกับโครงสร้างทางผลึกวิทยา การทดลองกระทำโดยการวัดประจุบนผิวของสารตัวอย่าง (สมัยนั้นคือ tourmaline, quartz, topaz, cane sugar และ Rochelle salt) ซึ่งประจุดังกล่าวแปรผันกับแรงเค้น ซึ่งเครื่องมือที่วัดมีแต่เพียงแผ่นดีบุกบางๆ, กาว, เส้นลวดและแม่เหล็ก เมื่อพิจารณาด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน สมบัติดังกล่าวภายหลังถูกขนานนามว่าสมบัติปียโซอิเล็กทริก



Pierre and Marie Curie in the Laboratory

รูปที่ 2.1 กรอบครัวตระกูล Curie

ครอบครัว Curie ยืนยันว่ายังมีความสัมพันธ์ของสมบัติทางไฟฟ้า (ประจุบนผิว) กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแรงเค้นกับ โครงสร้างของผลึก เขาทั้งสองยังใช้สมบัตินี้เป็นการเลือกผลึก โครงสร้างต่างๆ โดยใช้แยกผลึก (จากรูปภายนอก) ไพโรอิเล็กทริก ซึ่งมักเกิดกับผลึกที่ไม่มีสมมาตรแต่ Pierre และ Jacques ไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติปียโซอิเล็กทริกโดยตรง และสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาทั้งหมด ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

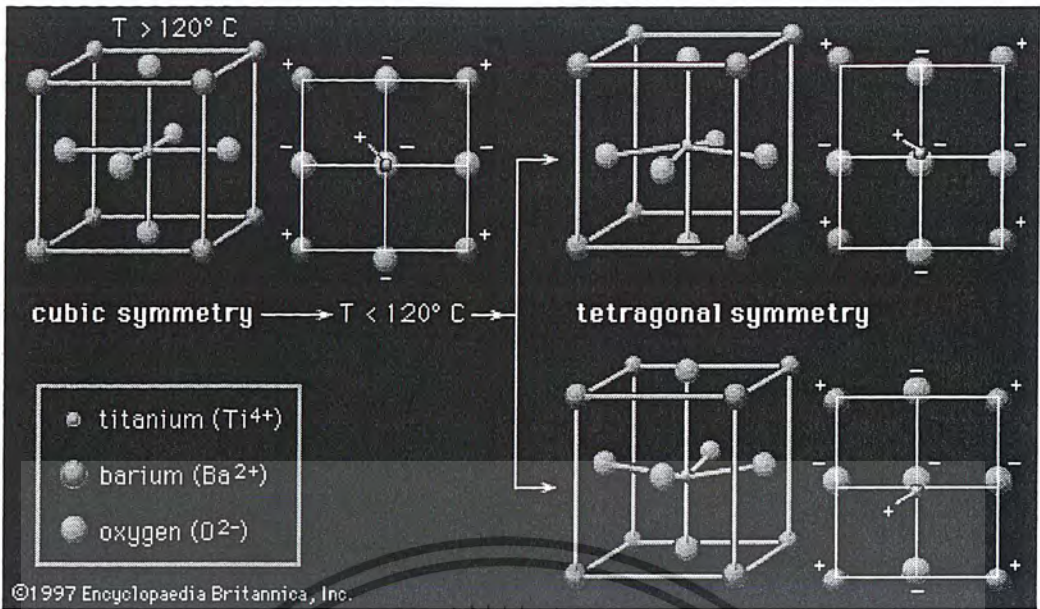
ส่วนกลับในทันที สมบัติดังกล่าวได้จากการเขียนสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์เบื้องต้น โดย Lippmann ในปี 1881

ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของวัสดุเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาสมบัติของ piezoelectric trik เมื่อพิจารณาวัสดุที่มีผลึกเดี่ยว ผลึกมีองค์ประกอบทางเคมีคงที่ และประกอบด้วย ไอออนที่เรียงตัวกันซ้ำๆ ต่อกันเป็นเครือข่ายเกิดเป็นระนาบผลึกหน่วยที่เล็กที่สุดที่มีความสมมาตร เรียกว่าหน่วยเซลล์ และบอกความเป็นไปได้ของการมีคุณสมบัติ piezoelectric trik ในผลึก นอกจากนี้ ความสมมาตรของโครงสร้างผลึกภายในถูกสะท้อนด้วยความสมมาตรของสมบัติที่วัสดุนั้นแสดงออกมา

นักผลึกศาสตร์แบ่งผลึกออกเป็น 32 กลุ่ม จากผลึก 32 กลุ่มดังกล่าวมี 21 กลุ่ม ที่ไม่มีสมมาตรของศูนย์กลาง (non-centrosymmetric) ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ piezoelectric trik ซึ่งพบถึง 20 กลุ่ม อีกกลุ่มหนึ่งที่เหลือไม่มีสภาพเป็น piezoelectric trik แม้จะอยู่ในกลุ่มที่ไม่สมมาตรของศูนย์กลางเพราะเกิดปรากฏการณ์พิเศษบางอย่าง การไม่มีสมมาตรของศูนย์กลางเป็นสภาวะที่สำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะ piezoelectric trik เนื่องจากแรงกดที่ทำให้กับวัสดุเป็นแบบที่มีสมมาตรของศูนย์กลางและไม่สามารถทำให้เกิดการโพลาไรเซชัน เช่น โพลาไรเซชันแบบเวกเตอร์ (vector-quality-like polarization) นอกจากนี้ว่าวัสดุนั้นจะมีลักษณะไม่มีสมมาตรของศูนย์กลางซึ่งจะทำให้ผลรวมของการเคลื่อนที่ของประจุบวกและลบ สามารถสร้างไดโพลไฟฟ้าขึ้นมาหรือที่เรียกว่าเกิดโพลาไรเซชัน ความแตกต่างของวัสดุที่เป็น piezoelectric trik กับเฟอร์โรอิเล็กทริกคือไม่สามารถเกิดโพลาไรเซชันด้วยตนเอง แต่จะเกิดเมื่อให้แรงทางกลต่อผลึกเท่านั้น สภาพ piezoelectric trik เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือแบบที่เป็นเส้นตรงและแบบผกผันได้และระดับการเกิดโพลาไรเซชันจะขึ้นกับระดับความเครียดที่เกิดจากแรงที่ได้รับ และเครื่องหมายของประจุที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับว่าแรงที่ให้เป็นแรงดึงหรือแรงกด

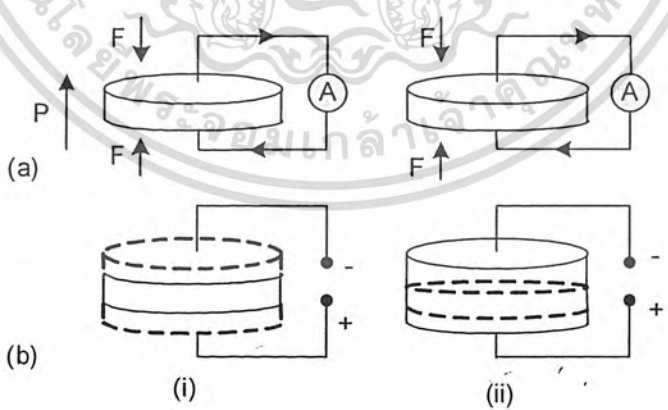
2.2 ปรากฏการณ์ piezoelectric trik

วัสดุเซรามิกบางชนิดที่มีโครงสร้างแบบไอออนิกและมีหน่วยเซลล์ที่ไม่สมมาตร จะมีผลทำให้เกิดอิเล็กทริกไดโพล (electric dipole) ขึ้นเล็กน้อย เช่น barium titanate (BaTiO_3) กล่าวคือที่อุณหภูมิเหนือ 120°C BaTiO_3 จะมีโครงสร้างผลึกเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) ที่สมมาตร (รูปที่ 2.2) และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 120°C ไอออนของ Ti^{4+} ที่อยู่ตรงกลาง และไอออนของ O^{2-} ที่อยู่ล้อมรอบในหน่วยเซลล์ของ BaTiO_3 จะเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามเล็กน้อย ทำให้เกิดอิเล็กทริกไดโพลโมเมนต์ขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 2.2) อุณหภูมิ 120°C นี้จะเรียกว่า อุณหภูมิ Curie ซึ่งเป็นอุณหภูมิวิกฤตที่มีการเปลี่ยนโครงสร้างของ BaTiO_3 จากรูปลูกบาศก์ไปเป็นรูป tetragonal



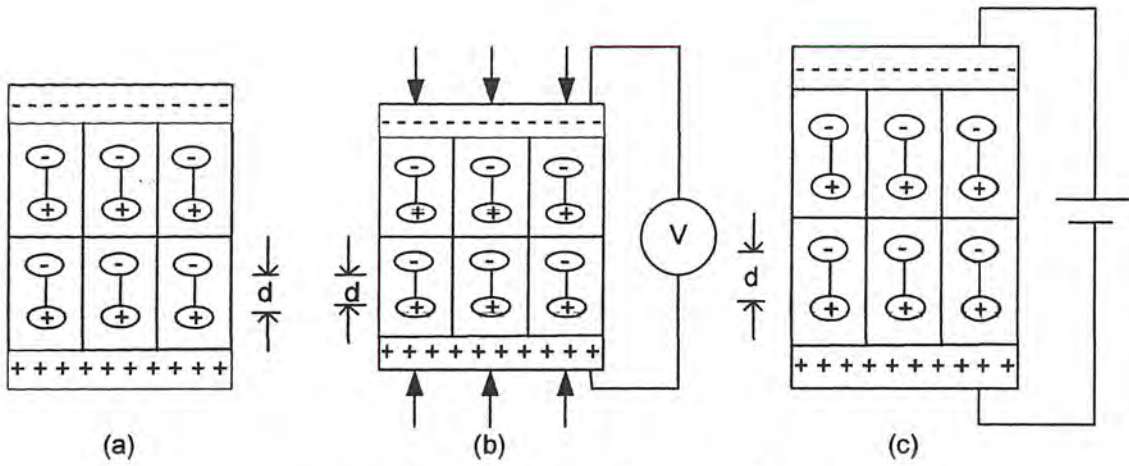
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของ BaTiO₃

ผลจากการเปลี่ยนโครงสร้างเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 120 °C จะส่งผลให้โครงสร้างของ BaTiO₃ เกิดความไม่สมมาตรกันทำให้จุดศูนย์กลางประจุ (+) ทั้งหมดภายในแผ่นเซลล์แยกออกจากจุดศูนย์กลางของประจุลบ ทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าขึ้น 2 ขั้ว และจากลักษณะดังกล่าว เมื่อใส่แรงกดเข้าไปก็จะเกิดประจุไฟฟ้าบวกและลบขึ้นในโครงสร้างของ BaTiO₃ และเมื่อใส่แรงดึง (ดังรูป 2.4(a)) จะเกิดประจุไฟฟ้าที่มีขั้วตรงกันข้ามและเมื่อนำแผ่นเซรามิกนี้ไปใส่สนามไฟฟ้างดังรูป 2.4(b) ผลก็จะเกิดการยืดและเมื่อกลับทิศสนามไฟฟ้าผลก็จะเกิดการหด เรียกปรากฏการณ์การยืดและหดนี้ว่า Piezoelectric



รูปที่ 2.3 แสดงปรากฏการณ์ Piezoelectricity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 (a) แสดงภาพจำลองอิเล็กทริกไดโพลในวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

(b) เป็นการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุถูกกดอัด

(c) เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อวัสดุถูกใส่ความต่างศักย์เข้าไป

ผลของเพียโซอิเล็กทริกเป็นผลทาง อิเล็กโทรแมคคานิกส์ (Electromechanical) ของวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแรงทางกลไปเป็นกระแสไฟฟ้าหรือในทางตรงข้ามก็สามารถเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าไปเป็นแรงทางกลได้

2.3 ปรัชญาการณเพียโซอิเล็กทริกและการตรวจจับ

ปรัชญาการณเพียโซอิเล็กทริก เป็นปรัชญาการณธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ เมื่อมีแรงกระทำบนคริสตอล (Crystal) การแทนที่ของคริสตอลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในทางกลับกันถ้ามีแรงดันไฟฟ้ามาป้อนให้กับคริสตอลแล้วนั้น คริสตอลก็จะเปลี่ยนรูปร่าง ไปจากเดิม

วัสดุประเภทคริสตอลนี้จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นทรานซิสเตอร์ ในการวัดระดับสูงๆ เช่น การวัดแรงดันชั่วขณะที่มีความถี่สูง โดยทั่วไปแล้วจะใช้ควอทซ์ (Quartz) ที่มีนุษย์ผลิตขึ้นเพราะควอทซ์ตามธรรมชาตินั้นมีความบริสุทธิ์น้อยกว่านั่นเอง

เมื่อป้อนแรงกลให้เพียโซอิเล็กทริก จะทำให้เกิดความเค้นในคริสตอลและทำให้ผลึกคริสตอลผิดรูปไป ผลคือ ประจุเปลี่ยน การผิดรูปของผลึกทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแทนที่ของประจุบวก และลบภายในผลึกเปลี่ยน การแทนที่ของประจุภายใน จะเท่ากับประจุภายนอก ของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (Electrode) ที่ผิวด้านบนอีกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาดและการมีขั้วของผิวประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วน โดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = d \times F \quad (2.1)$$

โดย d = ค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.1

F = แรงที่ทำให้คริสตอลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt

ประจุเหนี่ยวนำเขียนอยู่ในเทอมของระยะ t คือ

$$Q = d \times sY \times (\Delta t/t) \quad (2.2)$$

โดย s = พื้นที่ของคริสตอล (เมตร²)

t = ความหนาของคริสตอล (เมตร)

Y = ค่ายังโมดูลัส (Young of modulus)(นิวตัน/เมตร²)

ประจุที่อิเล็กโทรดจะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นโดยสมการ

$$E_c = Q/C \quad (2.3)$$

โดย C = ค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างอิเล็กโทรด (ฟารัด)

g = ค่าเพอร์มิตทิวิตี (Permittivity)

ดังนั้นเอาที่พหุโวลต์ที่ตรงจะเป็น

$$E_c = \frac{d \times t \times F}{\epsilon \times a} = \frac{g \times t \times F}{a} = g \times t \times P \quad (2.4)$$

โดย g = ค่าคงที่ของคริสตอล ดูจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก

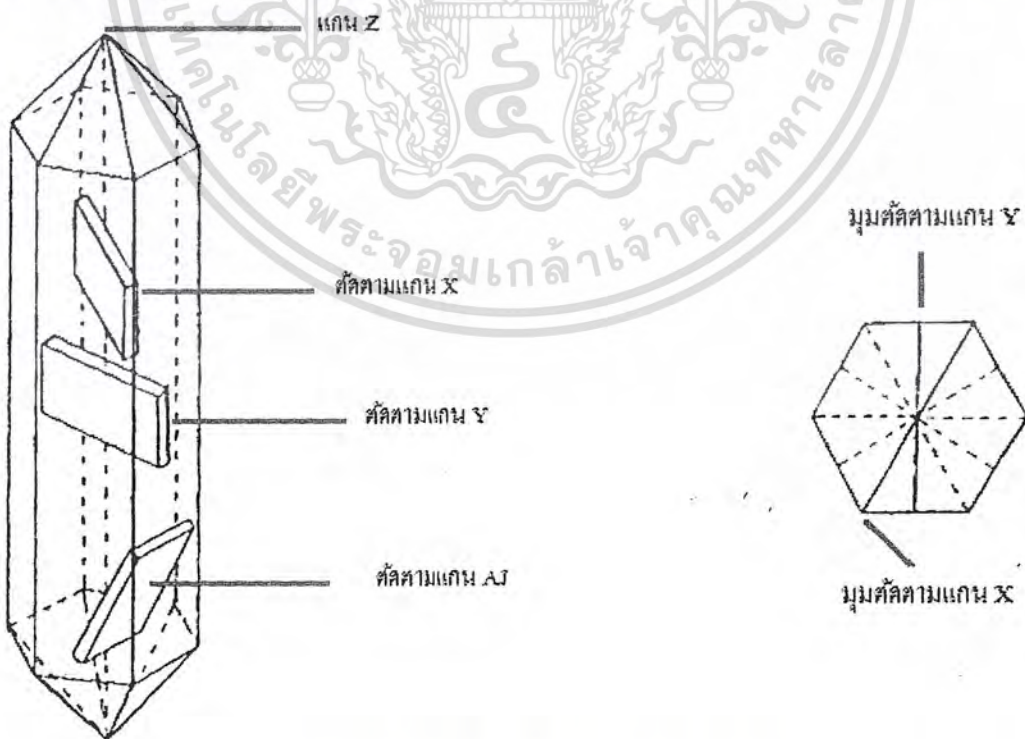
Material	Orientation	Charge Sensitivity d	Voltage Sensitivity g
Quartz	X cut; length along Y length longitudinal	2.25*10 ⁻¹²	0.055
	X cut; thickness Longitudinal	-2.04	-0.05
	Y cut ; Thickness shear	4.4	0.108
	Rochelle salt	X cut 45 degrees ; length longitudinal	.435
Y cut 45 degrees ; length longitudinal		-78.4	-0.29
Ammonium dehydrogenate phosphate	Z cut 0 degrees ; Face shear	48	0.354

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Z cut 45 degrees	24	0.177
Commercial barium titanate ceramics	// to polarization	130 to 160	0.0106
	⊥ to polarization	-56	0.0042 to 0.0058

ชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric elements) จะมีการตัดแบบต่างๆเพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 2.5

วัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมีหลายชนิดเช่น ควอตซ์ , ทัวร์มาลีน (Tourmaline) , เกลือโรเชลล์ (Rochelle Salt) , แอมโมเนีย ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ammonium dehydrogenate Phosphate , ADP) , ลิเทียมซัลเฟต (Lithium Sulphate) , แบเรียมไททาเนต (Barium Titanate) และ ลีด ซิงโครเมทไททาเนต (Lead Zirconate Titanate , LZT) โดยทั่วไปแล้ว ผลึกควอตซ์และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติแต่วัสดุพวกเปียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียมไททาเนต เซรามิก จะต้องนำมาทำกรอบคริสตอลภายใต้ความดัน และวางวัสดุที่ได้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟฟ้ากระแสตรงมาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกวางในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามทิศทางของสนามไฟฟ้า และประพฤติตัวตามสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจาก วัสดุสังเคราะห์ไม่มีข้อจำกัดทางขนาด โดยโครงสร้างของคริสตอล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆและทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 2.5 แสดงผลึกควอตซ์และการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ลักษณะการปฏิบัติตัวของเพียโซอิเล็กทริก (Mode of Operation)

2.4.1 ซิมเปิลเพลท (Simple plate) เป็นเพียโซอิเล็กทริกชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำต่อเพลท ในทิศทางต่างๆทำให้เกิดการขยับตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป

2.4.2 มัลติเพลท อาร์เรจเมนต์ (Multiple arrangement, Stacks) สามารถนำเอาชิ้นส่วนเพียโซอิเล็กทริกมาต่อกันในลักษณะ compress-expansion mode โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้เอาท์พุท โวลต์ที่เจอออกมาสูง ที่แรงกดอันเดียวกัน หรือเอามาต่อขนานกัน ก็จะได้เอาท์พุท อิมพีแดนซ์ (impedance) ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว

2.5 ลักษณะของเพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ (Piezoelectric Sensor Characteristics)

2.5.1 ความไวของประจุ

ผลึกเพียโซอิเล็กทริกสร้างประจุเมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นในตัวผลึก ซึ่งขึ้นกับทิศทางที่สัมพันธ์กับระนาบของผลึกด้วย ในที่นี้จะไม่สนใจในรายละเอียด แต่จะสนใจความสัมพันธ์ของประจุที่สร้างขึ้นกับการเปลี่ยนรูปของผลึก เพราะฉะนั้นได้

$$q = S_z Z \quad (2.8)$$

เมื่อ S_z คือ ความไวในการสร้างประจุ (ขึ้นกับวัสดุที่ใช้, พื้นที่ภาคตัด และความยาว)

Z คือ ระยะจากแนวอ้างอิง

จากสมการที่ข้างบน ให้ความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับค่า Z โดยลักษณะยืดหยุ่นของเพียโซอิเล็กทริกได้ว่า

$$\text{จาก } f = kZ \text{ และ } ma = kZ$$

$$Z = (m/k)a = Ka$$

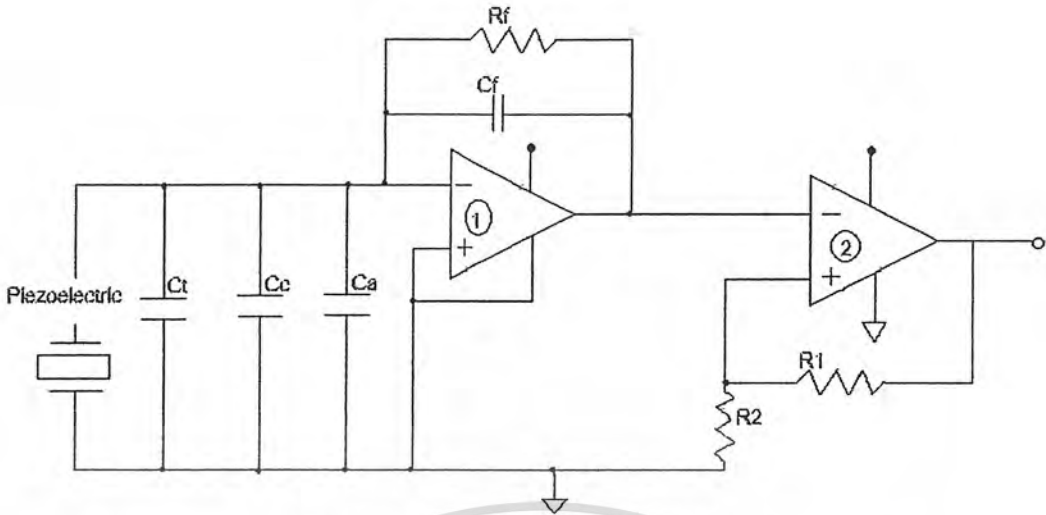
ดังนั้นจะได้ว่า

$$q = S_z Ka = S_z a \quad (2.9)$$

(เราพิจารณาให้การเกิดประจุเป็นเชิงเส้นกับความเร่งตลอดในการอธิบาย)

2.5.2 ชาร์จแอมพลิไฟเออร์

วงจรชาร์จแอมพลิไฟเออร์ประกอบด้วย ออปแอมป์ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 2.7 โดยออปแอมป์ตัวแรกใช้ขยายประจุและเปลี่ยนประจุเป็นโวลต์เตจ โดยมี R_f , C_f เป็นส่วนฟีดแบค (feedback) ส่วนออปแอมป์ตัวที่ 2 ใช้เป็นวงจรขยายแรงดัน



รูปที่ 2.6 วงจรอาร์จแอมพลิไฟเออร์ซึ่งต่ออยู่กับเปียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์

เป็นวงจรอาร์จแอมพลิไฟเออร์ โดยมี C_t เป็นคาปาซิเตอร์ภายในแผ่นเปียโซอิเล็กทริก C_e เป็นคาปาซิเตอร์ของสายเคเบิลที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นเปียโซอิเล็กทริกกับวงจรอาร์จแอมพลิไฟเออร์ ส่วนเอาต์พุตของวงจรอาร์จแอมพลิไฟเออร์ จะต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณให้แรงขึ้นอีกที่หนึ่ง จะได้สมการดังนี้

$$E_0 = \left[\frac{jR_f C_f \omega}{1 + jR_f C_f \omega} \right] S_v a_0 \quad (2.10)$$

โดย S_v เป็น Voltage Sensitivity ของวงจร (V/g) ดังสมการนี้

$$S_v = \frac{S_q}{R_2 C_f} \quad (2.11)$$

โดย S_q เป็นค่าความไวในการสร้างประจุ

ส่วนค่า R_1 และ R_2 เป็น Gain ของวงจรขยายส่วนที่สอง โดยมี R_2 เป็นตัวปรับให้ค่า S_q เป็นค่าที่มาตรฐาน เช่น 0.1 pC/m/s^2 หรือ 100 pC/m/s^2 และค่าของ C_f จะใช้อยู่ในช่วง 10 ถึง 5000 pF

2.6 ผลการตอบสนองชั่วขณะ (Transient response)

แบ่งตามชนิดของโหลดได้ดังนี้

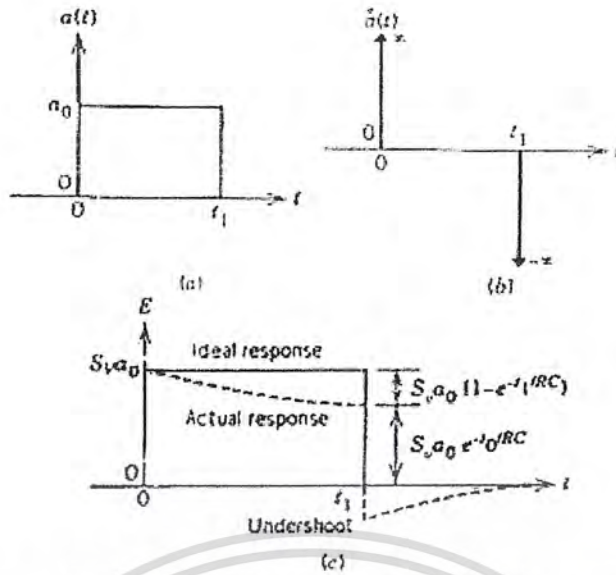
2.6.1 ผลตอบสนองของวงจรเปียโซอิเล็กทริกต่อสัญญาณชั่วขณะ

สัญญาณ DC จะถูกจำกัดออกเหลือเฉพาะ สัญญาณ AC สมการลักษณะของการขยายประจุเป็นดังนี้

$$E + \frac{E}{RC} = S_v a \quad (2.12)$$

เมื่อ S_v คือ โวลต์เตทเซ็นซิวิตี ได้คำตอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ผลตอบสนองของวงจรแอมพลิไฟเออร์ ต่อสัญญาณอินพุต

- (a) พัลส์ชั่วขณะ (Transient pulse)
- (b) อนุพันธ์ของพัลส์ (Derivative of pulse) และ
- (c) แรงดันค่านอก (Output voltage)

พิจารณาการลดทอนที่สัญญาณความถี่ต่ำ โดยให้สเตปอินพุต (input step) คาบเวลา T_1 ตามรูปที่ 2.8 (a) สมการข้างบนนี้สามารถนำไปหาอนุพันธ์ของอินพุต และแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 (b) ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการนี้

$$a = a_0 \delta(t) - a_0 \delta(t - t_1) \tag{2.13}$$

แทนสมการที่ได้นี้ลงไปในสมการก่อนหน้านี้

$$E = S_v a_0 [u(t) e^{-t/RC} - u(t - t_1) e^{-(t-t_1)/RC}] \tag{2.14}$$

รูปที่ 2.8 (c) แสดงผลตอบสนองทางไฟฟ้าของสมการข้างบนนี้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ Decay $(1 - e^{-t/RC})$ และ อันเดอร์ชูท (undershoot) ประมาณค่าความผิดพลาดจากการกระจาย $1 - e^{-t/RC}$ ได้

$$\eta_{max} = \frac{t_1}{RC} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{t_1}{RC} \right) + \frac{1}{6} \left(\frac{t_1}{RC} \right)^2 \dots \dots \dots \right) \tag{2.15}$$

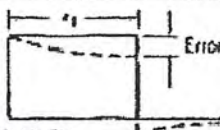
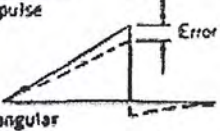
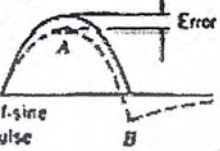
ถ้าค่า $\frac{t_1}{RC}$ น้อยๆ

$$\eta_{max} = \frac{t_1}{RC}$$

หรือ

$$T = RC = \frac{t_1}{\eta_{(max)}}$$

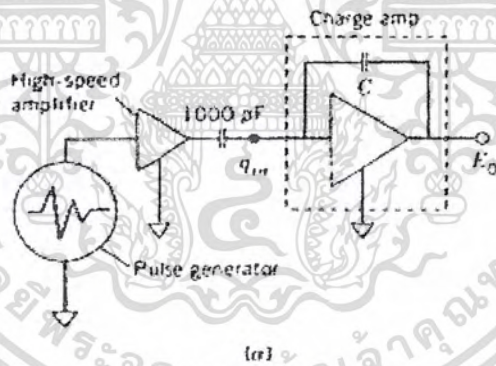
พิจารณาตารางที่ 2.2 พบว่าสัญญาณสามเหลี่ยมจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในการใช้งาน $T=RC$ จะไม่ใช่ค่าคงที่เวลาของเซ็นเซอร์ทั้งหมด แต่จะเป็น $T_0 = \frac{T_1 T}{(T_1 + T)}$

Pulse Shape	Time Constant		
	2% Error	5% Error	10% Error
 Rectangular pulse	$50r_1$	$20r_1$	$10r_1$
 Triangular pulse	$25r_1$	$10r_1$	$5r_1$
 Half-sine pulse	A B	$16r_1$ $31r_1$	$6r_1$ $12r_1$

Source: From J. W. Dally, W. F. Riley, and K. G. McConnell, *Instrumentation for Engineering Measurements*, 2nd ed., copyright © 1993 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission.

ตารางที่ 2.2 การหาความผิดพลาดจาก T (time constant) ที่รู้ค่า โดยสัญญาณด้านเข้าต่างกัน

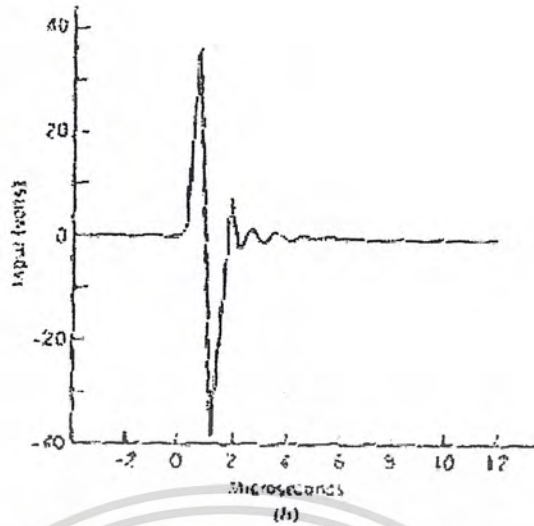
2.6.2 ผลตอบสนองต่อช็อคโหลด (Response with Shock load)



รูปที่ 2.8 การทดสอบ ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ โดยสัญญาณช็อค

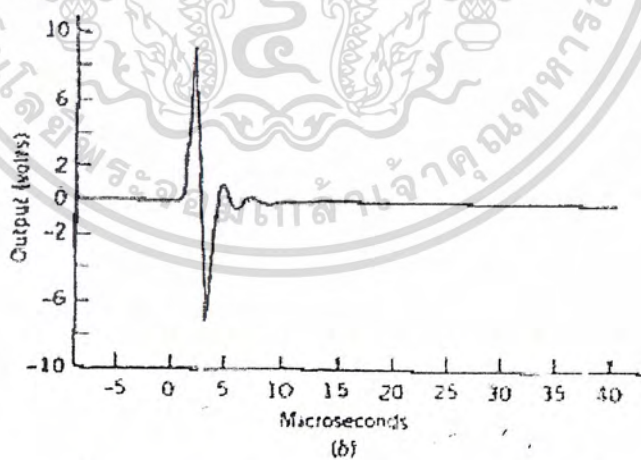
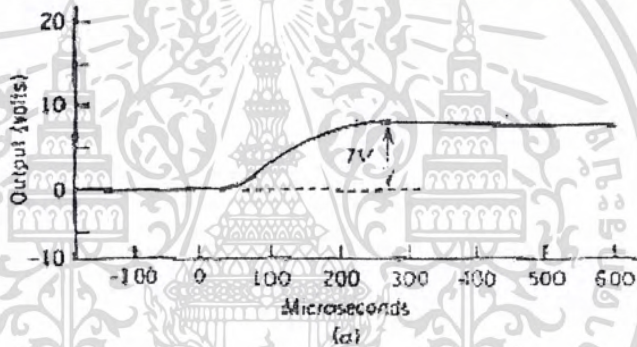
(a) วงจรทดสอบ (Test circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการทดสอบ ขาร์จแอมพลิไฟเออร์ โดยสัญญาณกระแทก

(a) รูปแบบคลื่นของแรงดันด้านเข้า (input voltage wave form)

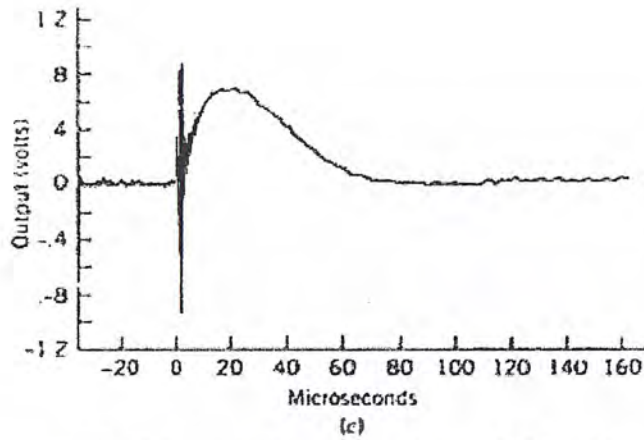


รูปที่ 2.10 แสดงเอาต์พุตของขาร์จแอมพลิไฟเออร์

(a) แบบผลตอบสนองงูล็อคอัพ (Lock-up Response)

(b) แบบผลตอบสนองแทรคกิ้ง (Tracking Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงเอาต์พุตของชาร์จแอมพลิไฟเออร์

(a) แบบผลตอบสนองของฟิลเตอร์ 10 KHz

ไพโรช็อกโหลด (Pyroshockload) จะมีความถี่สูง ใช้ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ในการหาสัญญาณเอาต์พุตของริงกิงสไปซ์ (“Ringing” spikes) ที่ความถี่สูง

รูปที่ 2.11 (a) เป็นวงจรที่ให้เอาต์พุต รูปที่ 2.11(b) พบว่าเอาต์พุตสูงถึง ± 40 โวลต์ ในเวลา 1 ไมโครวินาที ความถี่ของโหลดประมาณ 300 KHz $C=1$ ไมโครฟารัด เพื่อสร้างประจุให้กับอินพุต V_{out} จะเป็นดังรูปที่ 2.12(c) โดยใช้ฟิลเตอร์ 10 KHz จะเห็นว่า ไมโครชาร์จแอมพลิไฟเออร์ทุกตัวจะทำงานได้ดี

2.7 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำซึ่งอาจจะเป็นแรงจากภายในหรือภายนอกก็ได้

2.7.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนนั้นมีหลายรูปแบบ แต่สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้สองประเภทคือ

2.7.1.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)

คือการสั่นสะเทือนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบภายใต้แรงกระทำภายในระบบ โดยปราศจากแรงภายนอกกระทำ

2.7.1.2 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Forced Vibration)

คือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบอันเกิดจากแรงภายนอก และการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ หากความถี่ภายนอกที่มากระทำตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบเข้า จะทำให้

เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ (Resonance) ขึ้น นั่นคือขนาดของการสั่นสะเทือนจะถูกขยายอย่างมากจนอาจทำให้เกิดความเสียหายได้

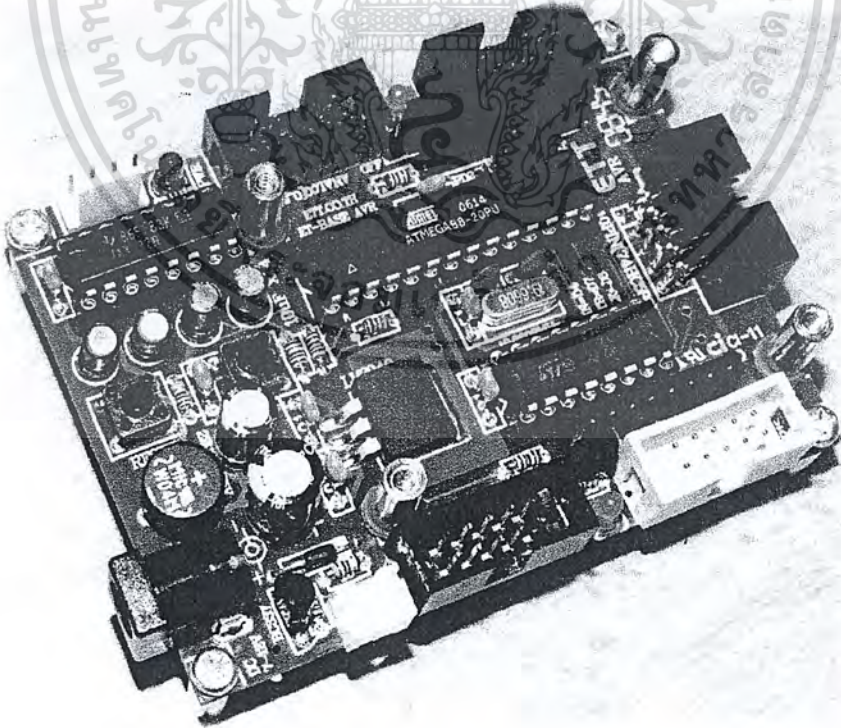
ซึ่งในโครงการนี้ เราสนใจแต่การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการถูกแรงกระทำหรือกระตุ้นจากภายนอก การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา ในการหาตำแหน่งของแรงสั่นสะเทือน

2.8 Arduino board

Arduino เป็นภาษาอิตาลี ใช้เป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source ที่พัฒนามาจากโครงการของ AVR อีกโครงการหนึ่งที่ชื่อว่า “Wiring” แต่เนื่องจากโครงการ “Wiring” เลือกใช้ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งมีตัวถังเป็นแบบ SMD จึงเป็นอุปสรรคกับผู้เริ่มต้น อีกทั้งบอร์ดยังมีขนาดใหญ่ จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร

หลังจากที่ทีมงาน Arduino นำ Open Source ของ Wiring มาพัฒนาใหม่ให้สามารถใช้งานกับ ATmega8 และ ATmega168 ได้ จึงทำให้ขนาดของบอร์ดเล็กกว่าของ Wiring และยังใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นกว่า ทำให้ง่ายต่อการต่อวงจรใช้เอง ด้วยเหตุนี้ทำให้ Arduino ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วโลกเป็นอย่างมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว

2.8.1 จุดเด่นของ Arduino



รูปที่ 2.12 แสดงรูปตัวอย่าง Arduino board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของ ความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งถึงแม้ว่า Arduino เองจะมีรูปแบบการใช้งาน คล้ายๆกับกันไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Basic Stamp ของ Parallax, BX-24 ของ Netmedias และ Handy Board ของ MIT แต่ก็มีจุดเด่นกว่าของรายอื่นๆ

1. ราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source Code และวงจร แจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้งานได้เอง

2. โปรแกรมที่ใช้พัฒนาของ Arduino รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX

3. มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้งานจริงๆที่มีความซับซ้อนมากๆได้ และ

ยังสามารถสร้างคำสั่งและ Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นแล้ว

4. มีการเปิดเผยวงจรและ Source Code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้ตามความต้องการทั้ง Hardware และ Software

2.8.2 คุณสมบัติของ ET-Base AVR EASY328

1. เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328

2. 32KBYTE FLASH SRAM 2 KBYTE, EEPROM 1 KBYTE, RUN ความถี่ 19.6608 MHz

3. มี PORT I/O ขนาด 20 BIT จำนวน 3 PORT (PB 6 BIT), (PC 6 BIT), (PD 8 BIT) โดยเป็น RS232, SPI, I2C, TIMER

4. มีรูปแบบง่ายๆ ในการพัฒนา ET-BASE AVR EASY328

4.1 รูปแบบโปรแกรมการพัฒนาด้วย ภาษา ซี (C++) ของ Arduino Project ในแบบ OPEN SOURCE โดยตัว MCU ของทาง อีทีที นี้ ได้ติดตั้งโปรแกรม BOOTLOADER ไว้ในตัว MCU เรียบร้อยแล้ว สามารถ DOWNLOAD ได้โดยตรงผ่านทาง RS232 PORT (ในกรณีต้องการผ่านทาง PORT USB ก็สามารถเพิ่มเติมการใช้งาน ได้ด้วยชุด ET-USB/RS232 MINI)

4.2 รูปแบบโปรแกรมการพัฒนาด้วย AVR ปกติ ซึ่งสามารถเลือกใช้งานในรูปแบบโปรแกรมภาษาใดๆ ที่ทำงานรองรับ AVR เช่น ภาษาเบสิก , ภาษา ซี หรือด้วย WIN AVR ฯลฯ โดยให้การ DOWNLOAD ผ่านทาง BOOTLOADER ทาง PORT RS232 หรือผ่านทางขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10PIN ที่มีอยู่แล้วบนบอร์ด ใช้ร่วมกับบอร์ด ET-AVR PROG MINI, ET-AVR ISP USB V1 ฯลฯ

5. ขั้วต่อใช้งาน 10PIN ET 3 ชุด, ขั้วต่อ OUTPUT ด้วย 74HC595 แบบ 10PIN IDE ET 1

ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. SW RESET และ SW BL (PD2) สำหรับใช้รีเซ็ตบอร์ดเข้าในการทำงานแบบ BOOTLOADER ผ่านทาง PORT RS232

7. RS232 PORT แบบ 4 PIN ET ใช้งานและใช้ DOWNLOAD โปรแกรม

8. 10 PIN IDE มาตรฐาน AVR ISP สำหรับโปรแกรมแบบไม่ผ่าน PORT RS232

9. มีฐานยึดบนบอร์ดใช้ติดตั้งบอร์ดในการทดลองในตระกูล ET-MINI I/O ต่างๆ ได้โดยตรง สะดวกในการทดลอง

10. POWER SUPPLY 7 - 10 VDC, ใช้ LM2940 (LOW DROP) ON BOARD

11. ขนาด PCB 8 X 6 CM.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้างวงจร

ในบทนี้ ได้ทำการแบ่งส่วนประกอบทั้งหมดออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบด้วย ส่วนขั้นตอนการออกแบบฐานวาง ส่วนที่ใช้รับแรงสั่นสะเทือนและส่วนการแปลงสัญญาณแรงสั่นสะเทือนเป็นแรงดันไฟฟ้า
2. ซอฟต์แวร์ (Software) ประกอบด้วย ส่วนการคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดแรงสั่นสะเทือนและแปลงค่าพิกัดที่ได้เป็นตัวอักษร

3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

3.1.1 อุปกรณ์หยังสัญญาณสำหรับวัดการสั่นสะเทือน

อุปกรณ์หยังสัญญาณ จะเป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่แปลงสภาพการสั่นสะเทือนที่ต้องการเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีรูปแบบและคุณสมบัติอย่างไรก็ขึ้นกับการออกแบบ

ปัจจุบันมักนิยมใช้อุปกรณ์หยังสัญญาณที่ใช้หลักการเพียโซอิเล็กทริกนั่นคือ วัสดุบางประเภท เช่น ควอตซ์ และเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิค บางชนิดจะเกิดประจุไฟฟ้าเมื่อถูกแรงกด วัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะทำหน้าที่เป็นสปริงรับแรงกดจากก้อนมวลหรือแรงกดจากการสัมผัสทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้า

3.1.1.1 ขั้นตอนการออกแบบฐานวางเพียโซอิเล็กทริก

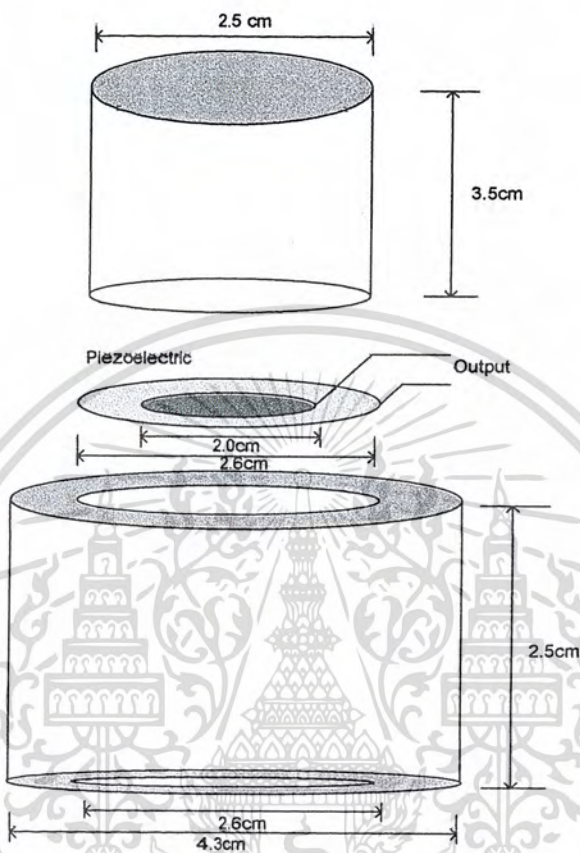
นำเหล็กเพลากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.3 เซนติเมตร มาตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตรจากนั้นจึงทำร่องตรงกลางเหล็กกลมนั้น ให้มีความกว้าง 2.6 เซนติเมตร (เท่าขนาดของเพียโซอิเล็กทริก) ลึก 2.5 เซนติเมตร แล้ววางเพียโซอิเล็กทริกลงบนกึ่งกลางผิวหน้าของท่อเหล็ก

3.1.1.2 ขั้นตอนการออกแบบกอน้ำหนักที่วางคบนเพียโซอิเล็กทริก

จากนั้นนำเหล็กเพลากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตรมาตัดเป็นท่อนยาว 3.5 เซนติเมตร ครอบทับด้วยท่อน้ำซึ่งใช้ในการประปาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรสูง 3.5 เซนติเมตร มาวางคบนเพียโซอิเล็กทริก

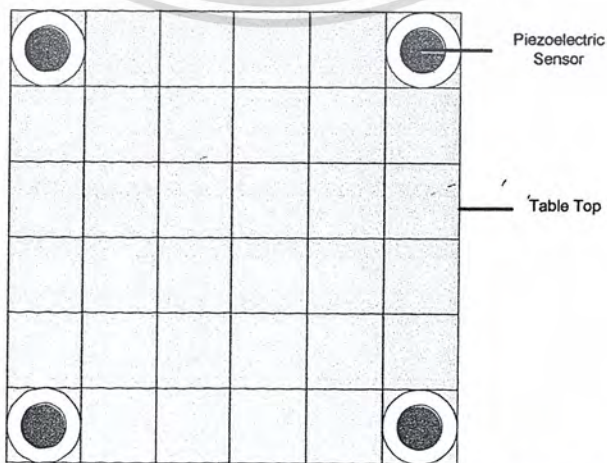
3.1.1.3 ขั้นตอนการออกแบบส่วนห่อหุ้ม

ในโครงการนี้จะใช้ข้อต่อท่อน้ำซึ่งใช้ในงานประปาเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.7 เซนติเมตร สูงประมาณ 6 เซนติเมตร มาทำเป็นส่วนห่อหุ้มฐานวางเปียโซอิเล็กทริก รวมทั้งก่อนนำหนักที่วางคบนเปียโซอิเล็กทริก แล้วจึงใช้น็อตสี่ตัวเจาะยึดระหว่างฐานและส่วนห่อหุ้มเอาไว้



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของส่วนประกอบของอุปกรณ์หยั่งสัญญาณ

3.1.2 ส่วนที่รับแรงสั่นสะเทือน

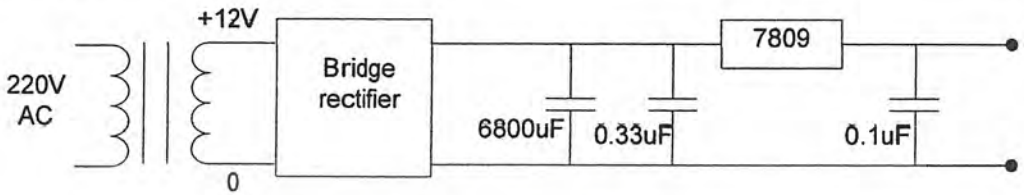


รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งในการวางเปียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับโครงการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปียโซอิเล็กทริก เซนเซอร์ทั้ง 4 ตัว ที่ถูกติดตั้งอยู่ใต้พื้นแผ่นระนาบที่ไว้รับแรงสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 3.2 นั้น จะใช้วัดแรงกดที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวที่อยู่แต่ละมุมของพื้นที่ที่ใช้วัด เมื่อผู้ใช้เคาะนิ้วลงบนแผ่นระนาบ การกระจายของแรงกดเป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นมันค่อนข้างง่ายต่อการตรวจสอบ ที่จะหาตำแหน่งของแรงกดจากข้อมูลที่เซนเซอร์ส่งมาเมื่อมีแรงกดมากระทำ

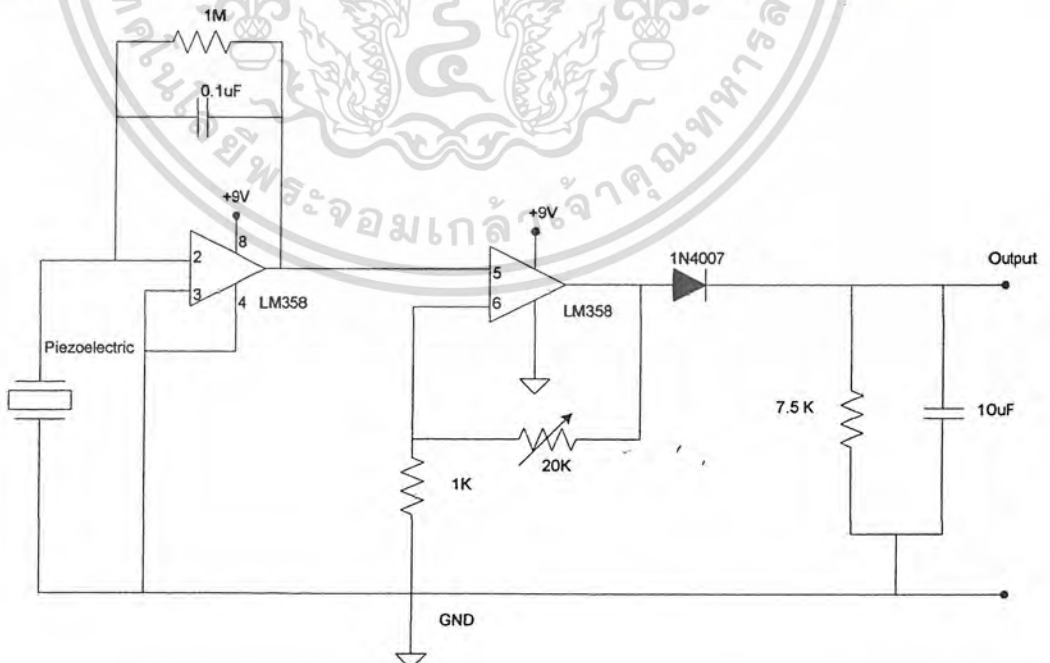
3.1.3 ส่วนของวงจรแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.3 แสดงรูปวงจรแหล่งจ่ายไฟ

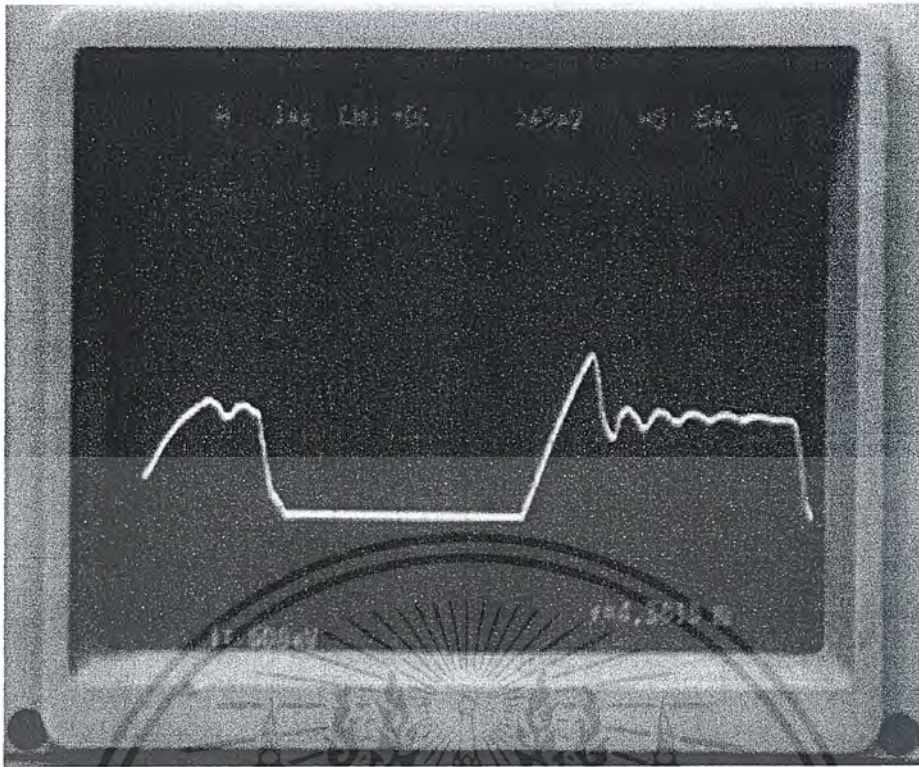
3.1.4 ส่วนแปลงสัญญาณแรงสั่นสะเทือนเป็นแรงดันไฟฟ้า

เริ่มจากอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของเปียโซอิเล็กทริก เมื่อได้รับการสั่นสะเทือนจะเกิดประจุไฟฟ้าออกมา จากนั้นประจุไฟฟ้านี้จะผ่านวงจร Charge amplifier โดยมีออปแอมป์ LM 358 ทำหน้าที่เปลี่ยนประจุไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า จากนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะผ่านวงจรขยายแรงดัน โดยใช้ ออปแอมป์ LM 358 ตัวเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรขยายแรงดันมาแล้วจะถูกส่งต่อไปยังวงจรพีคดีเทคเตอร์ (Peak detector) ซึ่งทำหน้าที่วัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเอาไว้ ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่ 0-5 โวลต์ จากนั้นส่งแรงดันค่านี้จะถูกเข้าสู่ Arduino board ต่อไป ตามรูปที่ 3.3

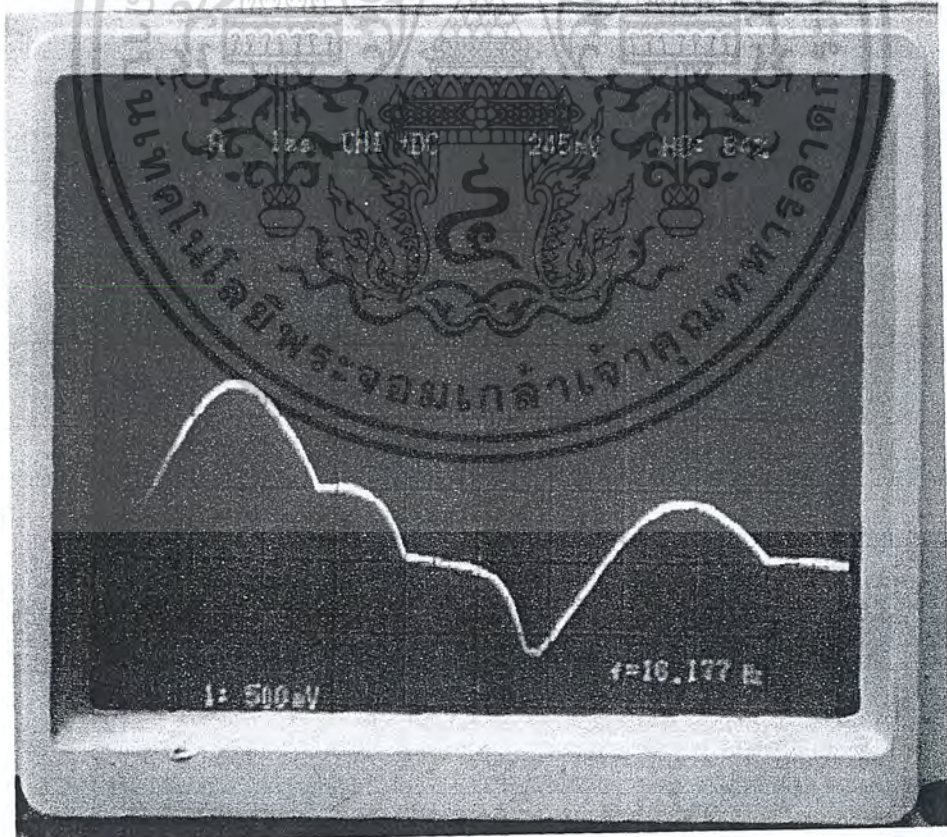


รูปที่ 3.4 แสดงรูปวงจรส่วนรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

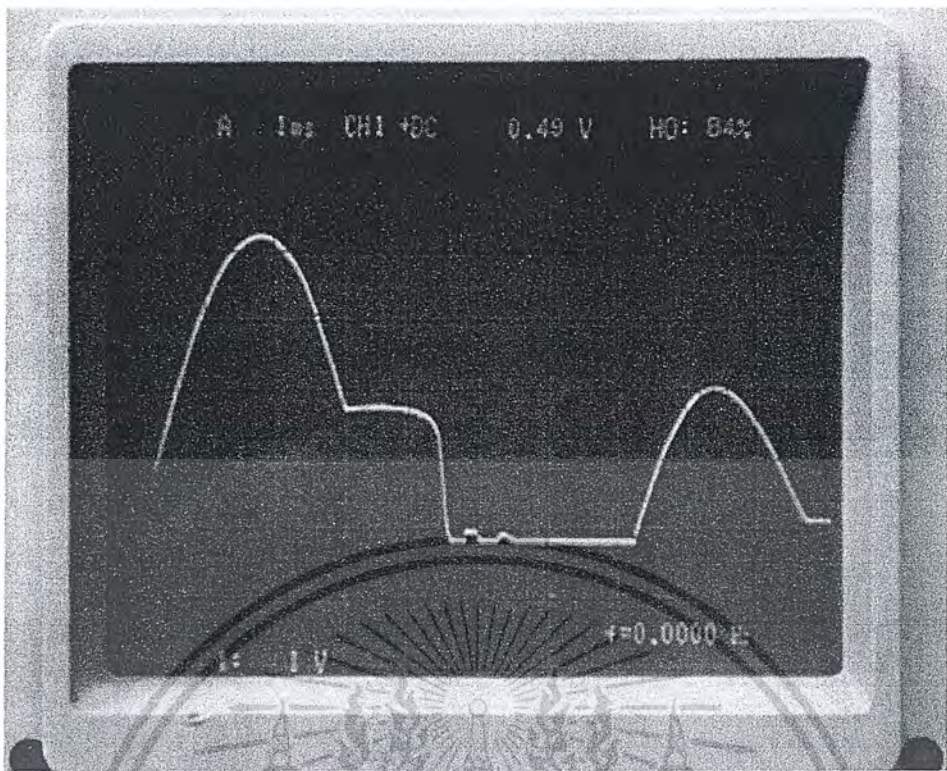


รูปที่ 3.5 รูปสัญญาณที่ออกหลังจากผ่านตัวเพียโซอิเล็กทริก

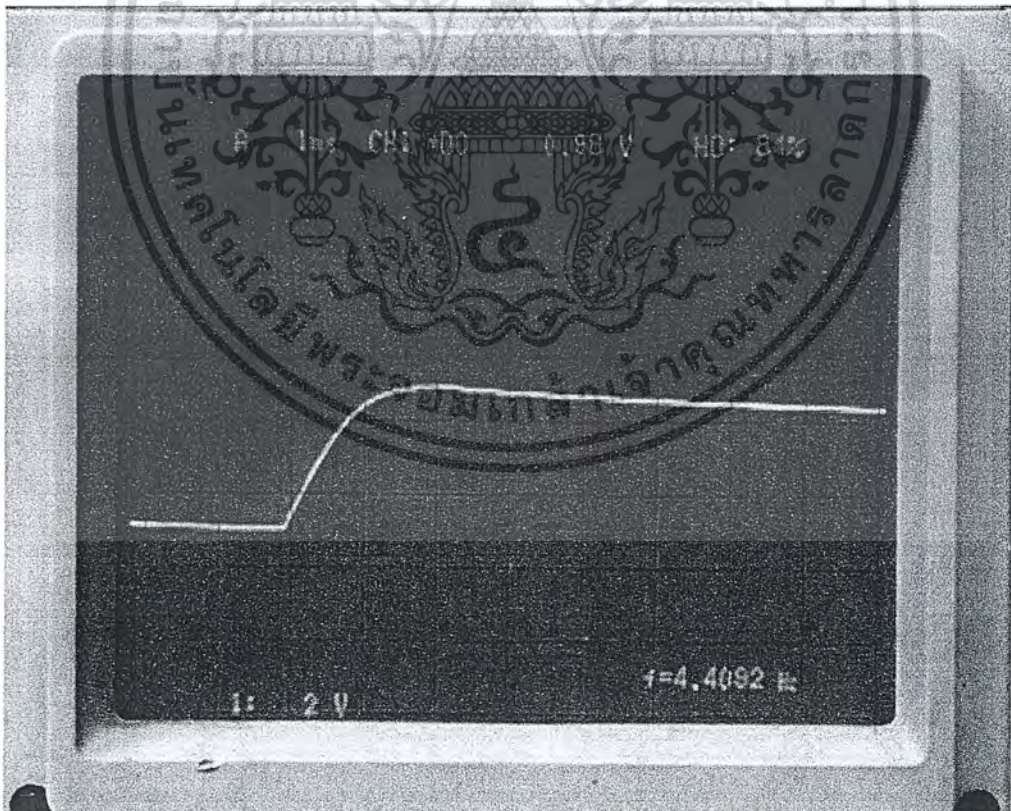


รูปที่ 3.6 รูปสัญญาณหลังจากผ่านวงจรถอสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปสัญญาณหลังผ่านวงจรแอมพลิไฟเออร์



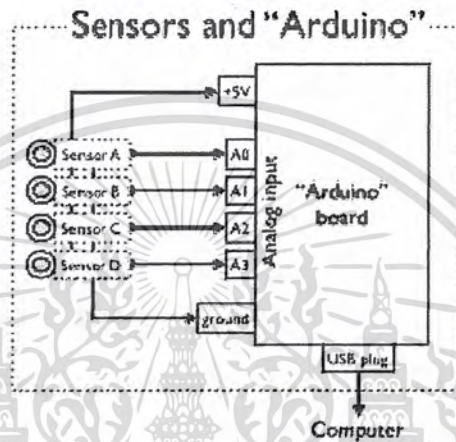
รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณหลังผ่านวงจรฟิดคิตเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ซอร์ฟแวร์ (Software)

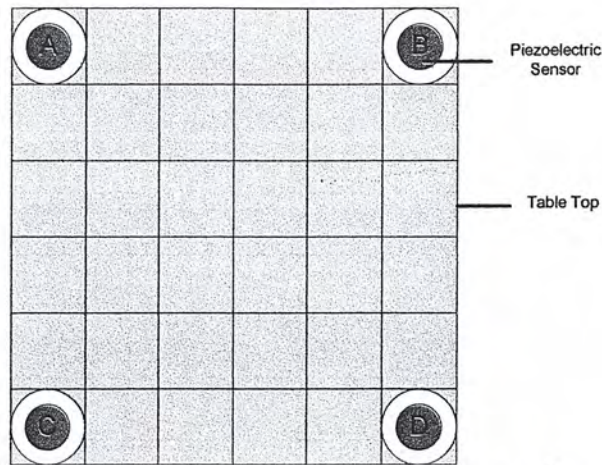
3.2.1 ส่วนการคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดแรงสั่นสะเทือน

ข้อมูลจากวงจรในรูปที่ 3.3 จะถูกส่งไปยังบอร์ด ET-BASE AVR EASY ผ่านขานาล็อก A0-A3 ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านระบบ ADC ซึ่งสัญญาณอนาล็อกที่ขนาด 0-5V (ตามขนาดไฟเลี้ยง) จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล 1024 ค่า (0-1023) จากนั้นค่าสัญญาณดิจิทัลที่ได้จะถูกนำไปคำนวณผ่านสมการชุดที่ 1 จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้แสดงออกผ่านโปรแกรม Arduino 0019 เป็นพิกัด X, Y



รูปที่ 3.9 แสดง Piezoelectric Sensors ทั้ง 4 ตัวต่อเข้ากับ Arduino Board

หลังจากที่ได้รับแรงกระทำ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการคำนวณพิกัด X,Y โดยในการคำนวณแต่ละแกน จะทำการคำนวณทั้งสองด้าน จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย จากรูป เราจะทำการคำนวณพิกัด X1, X2 โดย X1 คือระยะตามแนวแกน X จากซ้ายไปขวาด้านบนของแป้นพิมพ์จำลอง (\overline{AB}), X2 คือระยะตามแนวแกน X จากซ้ายไปขวาด้านล่างของแป้นพิมพ์จำลอง (\overline{CD}) และทำการคำนวณพิกัด Y1, Y2 โดย Y1 คือระยะตามแนวแกน Y จากบนลงล่างด้านซ้ายของแป้นพิมพ์จำลอง (\overline{AC}), Y2 คือระยะตามแนวแกน Y จากบนลงล่างด้านขวาของแป้นพิมพ์จำลอง หลังจากนั้น นำค่า X1, X2 และ Y1, Y2 มาหาค่าเฉลี่ย X และ Y ดังสมการข้างล่าง



รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการวางเพียโซอิเล็กทริกทั้ง 4 ตัว

สมการที่ใช้หาค่าพิกัด X, Y

$$X1 = \text{ระยะแกน X} * \text{แรงกด B} / (\text{แรงกด A} + \text{แรงกด B})$$

$$X2 = \text{ระยะแกน X} * \text{แรงกด D} / (\text{แรงกด C} + \text{แรงกด D})$$

$$X = (X1 + X2) / 2$$

$$Y1 = \text{ระยะแกน Y} * \text{แรงกด C} / (\text{แรงกด A} + \text{แรงกด C})$$

$$Y2 = \text{ระยะแกน Y} * \text{แรงกด D} / (\text{แรงกด B} + \text{แรงกด D})$$

$$Y = (Y1 + Y2) / 2$$

การใช้ข้อมูลเซนเซอร์ที่อ่านได้ เราควรเลือกที่จะใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างการอ่านค่าของ ค่าบน/ค่าล่าง $-(X1/X2)$ และ ซ้าย/ขวา $-(Y1/Y2)$ ของเซนเซอร์คู่หนึ่งๆ

3.2.2 ส่วนของภาษาที่ใช้คำนวณหาตำแหน่งแรงสัมผัสเตือน

```
#include <LCDHC595.h> // เรียกใช้ข้อมูลของ LCDHC595
```

```
#define SIN_PIN 4 // กำหนดขาที่ใช้ของ LCDHC595
```

```
#define STR_PIN 7
```

```
#define CLK_PIN 8
```

```
LCDHC595 lcd = LCDHC595(SIN_PIN, STR_PIN, CLK_PIN);
```

```
/**ประกาศตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม**/
```

```
int Var0 = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int Var1 = 0;
int Var2 = 0;
int Var3 = 0;
```

```
int BufVar0 = 0;
int BufVar1 = 0;
int BufVar2 = 0;
int BufVar3 = 0;
```

```
int X = 0;
int X1 = 0;
int X2 = 0;
int Y = 0;
int Y1 = 0;
int Y2 = 0;
```

```
void getADC()
```

```
และตรวจสอบค่าสูงสุดของ I/P
```

```
{
```

```
int loop = 0;
```

```
do {
```

```
Var0 = 0;
```

```
Var1 = 0;
```

```
Var2 = 0;
```

```
Var3 = 0;
```

```
BufVar0 = analogRead(A0);
```

```
BufVar1 = analogRead(A1);
```

```
BufVar2 = analogRead(A2);
```

```
BufVar3 = analogRead(A3);
```

// สร้าง โปรแกรมย่อย ในส่วนของการเรียกใช้ตัวแปล

// กำหนด loop เริ่มต้นที่ 0

// ตั้งค่า Var0

// ตั้งค่า Var1

// ตั้งค่า Var2

// ตั้งค่า Var3

// เก็บค่าจากขา analog ที่ 0 ไว้ที่ BufVar0

// เก็บค่าจากขา analog ที่ 1 ไว้ที่ BufVar1

// เก็บค่าจากขา analog ที่ 2 ไว้ที่ BufVar2

// เก็บค่าจากขา analog ที่ 3 ไว้ที่ BufVar3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (BufVar0 > Var0) Var0 = BufVar0; // ตรวจสอบค่าที่ขา analog ที่ 0 ที่เข้ามาใหม่ว่ามากกว่า
                                   // ค่าที่เก็บไว้ก่อนหน้าหรือใหม่ ถ้าใช่ให้เก็บค่าใหม่ไว้
                                   // แทนค่าเก่าที่ BufVar0
if (BufVar1 > Var1) Var1 = BufVar1; // ตรวจสอบค่าที่ขา analog ที่ 1 ที่เข้ามาใหม่ว่ามากกว่า
                                   // ค่าที่เก็บไว้ก่อนหน้าหรือใหม่ ถ้าใช่ให้เก็บค่าใหม่ไว้
                                   // แทนค่าเก่าที่ BufVar1
if (BufVar2 > Var2) Var2 = BufVar2; // ตรวจสอบค่าที่ขา analog ที่ 2 ที่เข้ามาใหม่ว่ามากกว่า
                                   // ค่าที่เก็บไว้ก่อนหน้าหรือใหม่ ถ้าใช่ให้เก็บค่าใหม่ไว้
                                   // แทนค่าเก่าที่ BufVar2
if (BufVar3 > Var3) Var3 = BufVar3; // ตรวจสอบค่าที่ขา analog ที่ 3 ที่เข้ามาใหม่ว่ามากกว่า
                                   // ค่าที่เก็บไว้ก่อนหน้าหรือใหม่ ถ้าใช่ให้เก็บค่าใหม่ไว้
                                   // แทนค่าเก่าที่ BufVar3

loop++; // เพิ่มจำนวน loop ขึ้น 1
} while (loop>5); // กำหนดจำนวนรอบในการตรวจสอบไว้ที่ 5 ถ้ามากกว่า
ให้ออกจากลูป
delay (500); // หน่วงเวลา 500 us
}
void setup() // ตั้งค่าคำสั่งเริ่มต้นของอุปกรณ์ต่างๆ
{
  lcd.Initial(); // ตั้งค่าเริ่มต้นใช้ LCD
  lcd.Backlight(1); // ตั้งค่าแสงของ LCD
  analogReference(DEFAULT); // กำหนดจุดอ้างอิงของสัญญาณอนาล็อก
}

void loop() // ลูปการทำงานหลัก
{
  while (analogRead(0) < 10 || analogRead(1) < 10 || analogRead(2) < 10 || analogRead(3) < 10)
    // กำหนดการตรวจสอบสัญญาณขาเข้าหากไม่มีขาใดของสัญญาณอนาล็อกมากกว่า 10 ให้
    ทำงานภายในลูปไปเรื่อยๆ
  {
    lcd.ClearScreen(); // ล้างข้อมูลหน้าจอแสดงผล

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.Print("KEYPAD POSITION"); // แสดงข้อความ "KEYPAD POSITION"

lcd.SetCursor(0x40); // กำหนดตำแหน่งตัวอักษรถัดไปที่ แถวที่ 2
lcd.Print(" NORMAL "); // แสดงข้อความ " NORMAL "
delay(100); // หน่วงเวลา 100 us
}

getADC(); // เรียกใช้โปรแกรมย่อย ADC

X1 = 30*Var1/(Var0+Var1); // ทำการหาตำแหน่งในแนวแกน X ที่ 1
X2 = 30*Var3/(Var2+Var3); // ทำการหาตำแหน่งในแนวแกน X ที่ 2
X = (X1+X2)/2; // หาค่าเฉลี่ยของค่าในแนวแกน X ทั้งสอง

Y1 = 30*Var2/(Var0+Var2); // ทำการหาตำแหน่งในแนวแกน Y ที่ 1
Y2 = 30*Var3/(Var1+Var3); // ทำการหาตำแหน่งในแนวแกน Y ที่ 2
Y = (Y1+Y2)/2; // หาค่าเฉลี่ยของค่าในแนวแกน Y ทั้งสอง

lcd.ClearScreen(); // ล้างข้อมูลหน้าจอแสดงผล
lcd.Print("Keypad Position"); // แสดงข้อความ "KEYPAD POSITION"

lcd.SetCursor(0x40); // กำหนดตำแหน่งตัวอักษรถัดไปที่ แถวที่ 2

/** ในส่วนนี้จะเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขในพิกัดของ X และ Y ว่าอยู่ตรงกับตัวอักษรใดบน
แป้นพิมพ์จำลอง */
if (X<=5 && Y<=5)
{
lcd.Print(" A ");
}
else if (X<=10 && Y<=5)
{
lcd.Print(" B");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (X<=15 && Y<=5)
{
lcd.Print("  C");
}
else if (X<=20 && Y<=5)
{
lcd.Print("  D");
}
.
.
.
.
.
else if (X<=25 && Y>25 && Y<=35)
{
lcd.Print("  8");
}
else if (X<=35 && Y>25 && Y<=35)
{
lcd.Print("  9");
}

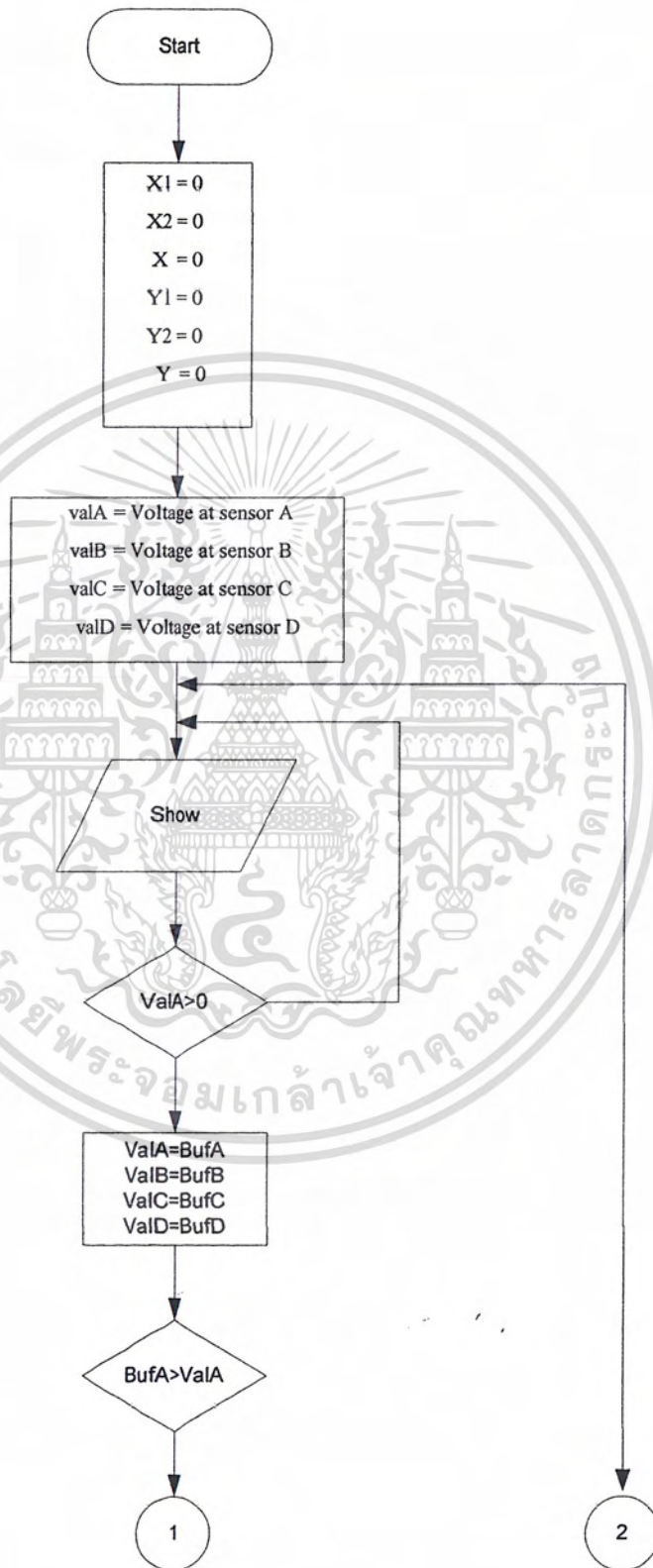
else
{
lcd.Print("XXXX=ERROR=XXXX");
}
delay(1000);          // หน่วงเวลา 1 s
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 Flow chart การทำงานของโปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งการสั้นสะเทือน



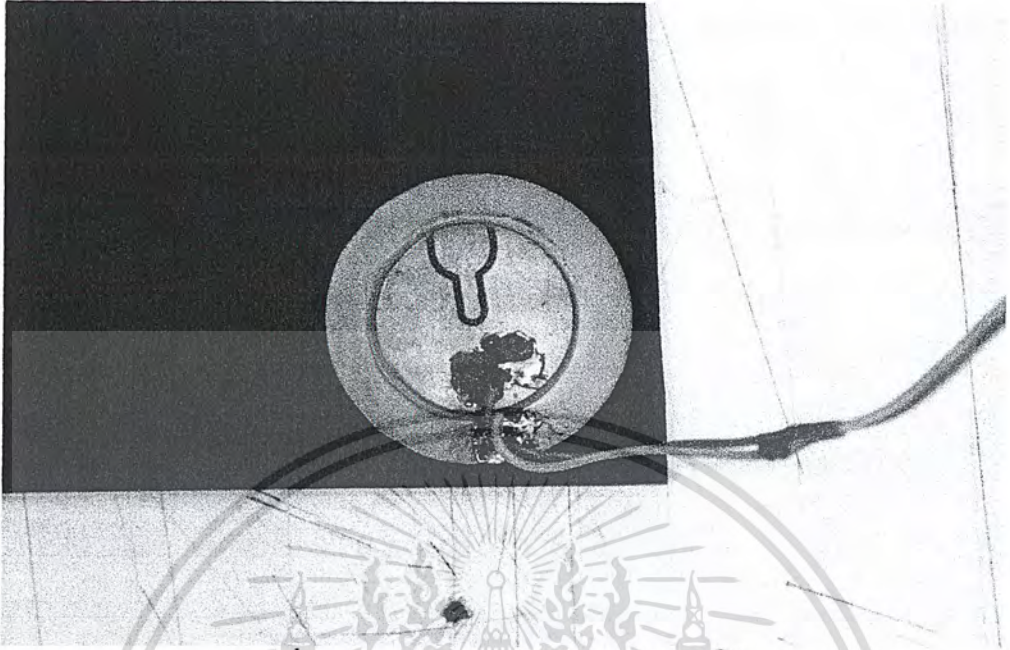
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเปรียบเทียบฐานแบบต่างๆ

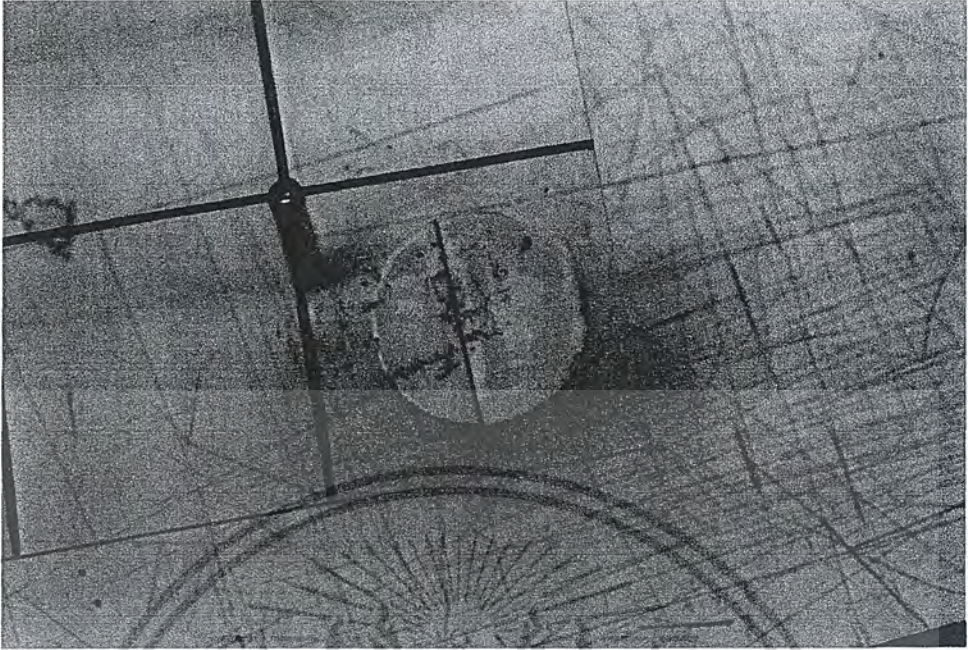
3.4.1 ฐานแบบที่ 1



รูปที่ 3.11 แสดงฐานเปียโซอิเล็กทริกแบบที่ 1

ฐานแบบแรก เป็นการนำเอาแผ่นเปียโซอิเล็กทริกแปะติดไว้ที่ตำแหน่งมุมของแผ่นระนาบ ทั้ง 4 มุม เพื่อเป็นการวัดค่าสัญญาณที่ออกมาจากเปียโซอิเล็กทริก แต่เนื่องจากว่าการที่แผ่นเปียโซอิเล็กทริกติดกับพื้นนั้นทำให้แรงที่เกาะได้ไม่เท่ากันเพราะพื้นระนาบที่วางนั้นไม่สม่ำเสมอ ทำให้ฐานแบบแรกนี้ไม่สามารถนำมาใช้ได้

3.4.2 ฐานแบบที่ 2



รูปที่ 3.12 แสดงฐานวางเป็ยโซอิลิกทริกแบบที่ 2

ฐานแบบต่อมาเป็นการพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาที่ได้ทราบมาจากฐานแบบแรก นั่นคือได้ทำการเอานี้อดยาวมาทำเป็นเสาที่ทั้ง 4 มุมเพื่อยกแผ่นเป็ยโซอิลิกทริกให้สูงขนานขึ้นกับพื้นและผลที่ได้เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงระดับแรงดันที่เปีย โซอิลิกทริกจ่ายและตำแหน่งหลังการคำนวณ

ช่องที่	แรงดันที่จุด (Voltage)				ระยะทางหลังจากการคำนวณ	
	A	B	C	D	X	Y
1	3	2.7	2.7	2.6	14.7	14.5
2	2.9	2.8	2.8	2.6	15.1	14.6
3	2.8	2.9	2.7	2.6	15.3	14.5
4	2.8	2.9	2.7	2.5	15.4	14.3
5	2.8	2.9	2.7	2.5	15.4	14.3
6	2.8	3	2.8	2.6	15.5	14.5
7	2.8	2.9	2.7	2.6	15.3	14.5
8	2.8	2.9	2.7	2.6	15.3	14.5
9	2.8	2.9	2.7	2.6	15.3	14.5
10	2.8	2.7	2.6	2.5	15	14.4
11	2.9	2.7	2.6	2.5	14.9	14.3
12	2.9	2.7	2.6	2.5	14.9	14.3
13	2.8	2.6	2.6	2.5	14.9	14.6
14	2.8	2.6	2.5	2.7	14.4	14.7
15	2.7	2.7	2.6	2.6	15	14.7
16	2.7	2.7	2.6	2.6	15	14.7
17	2.7	2.8	2.7	2.6	15.3	14.7
18	2.6	2.8	2.8	2.6	15.6	15
19	2.5	2.7	2.8	2.6	15.6	15.3
20	2.8	2.7	2.7	2.9	14.6	15.1
21	2.8	2.8	2.9	2.9	15	15.3
22	2.8	2.8	2.9	2.9	15	15.3
23	2.4	2.5	3	2.8	15.4	16.3
24	2.7	2.6	2.6	2.8	14.6	15.1
25	2.6	2.5	2.7	2.9	14.6	15.7
26	2.6	2.5	2.7	2.8	14.7	15.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

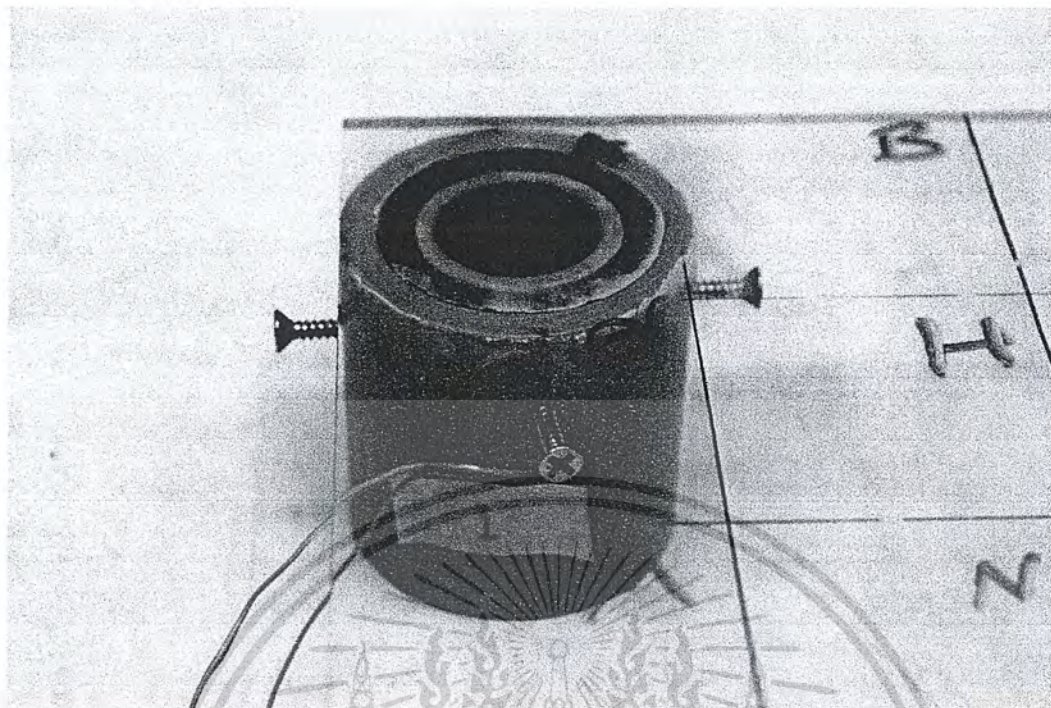
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ช่องที่	แรงดันที่จุด (Voltage)				ระยะทางหลังจากการคำนวณ	
	A	B	C	D	X	Y
27	2.6	2.5	2.7	2.5	15.3	15.6
28	2.5	2.6	2.6	2.6	15.3	15.3
29	2.6	2.7	2.8	2.7	15.6	15.5
30	2.5	2.7	2.7	2.7	15.6	15.3
31	2.6	2.8	2.8	2.8	15.6	15.5
32	2.5	2.7	2.8	2.7	15.8	15.5
33	2.6	2.6	2.8	2.6	15.6	15.6
34	2.6	2.6	2.8	2.6	15.6	15.6
35	2.6	2.5	2.8	2.5	15.6	15.6
36	2.7	2.5	2.9	2.5	15.5	15.6

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการคำนวณหาค่าพิกัด พบว่าค่าตำแหน่งทุกตารางจะอยู่ในช่วงกึ่งกลางของระยะทางทั้งหมดในแต่ละแกน เป็นผลเนื่องมาจากเสาที่ได้ทำการติดตั้งทั้ง 4 นั้นได้ทำการปรับแรงดันสะท้อนลงไปที่พื้นบางส่วน ทำให้แรงดันสะท้อนที่ส่งให้แก่เปียโซอิเล็กทริกมีขนาดเล็กลงและมีความคลาดเคลื่อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

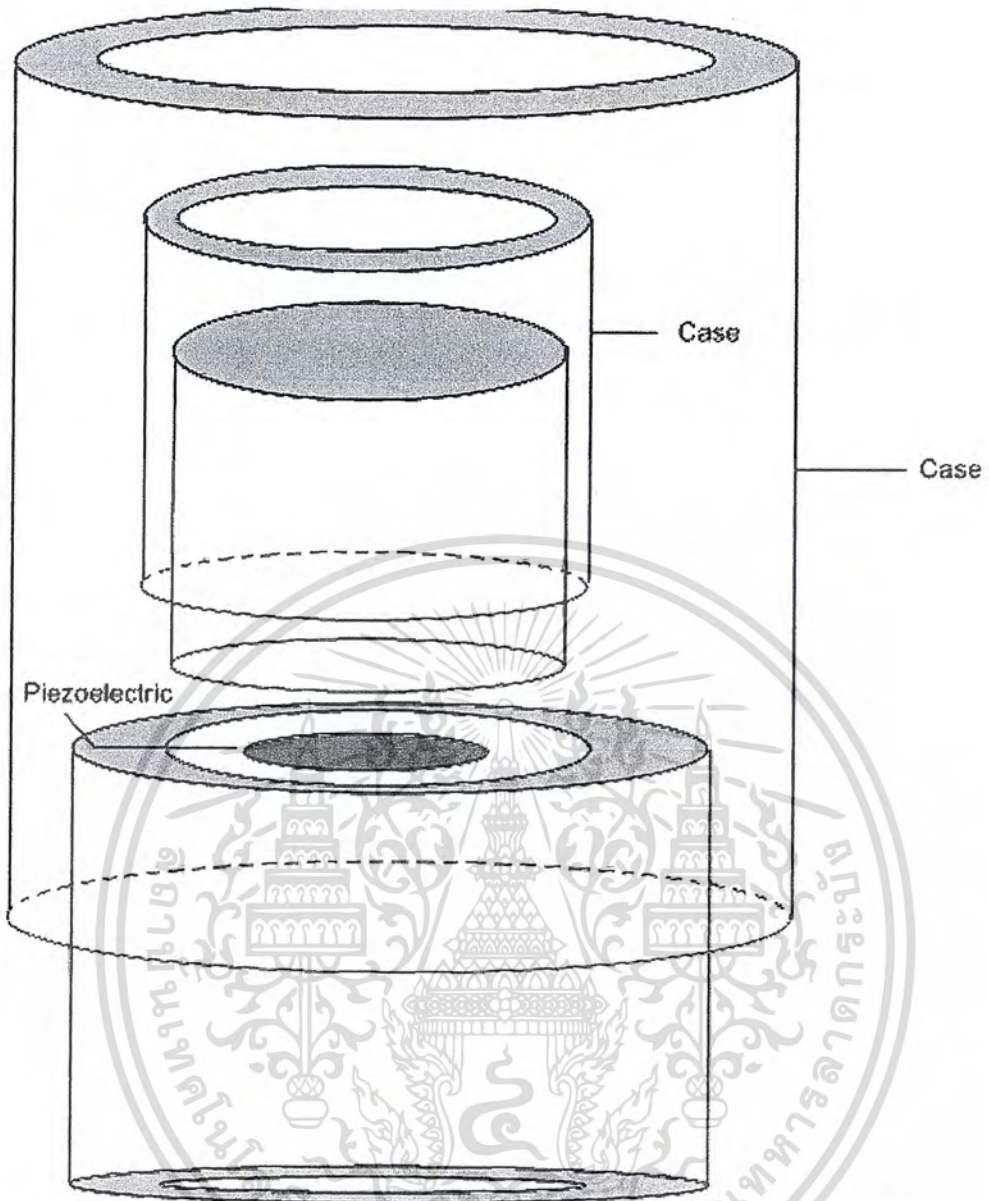
3.4.3 ฐานแบบที่ 3



รูปที่ 3.13 แสดงฐานวางเปียโซอิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 3

เป็นฐานแบบปัจจุบันที่ในโครงการนี้ได้นำมาใช้ ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงการประกอบส่วนต่างๆของฐานวางเพียโซอิเล็กทริก

ผลที่ได้จะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

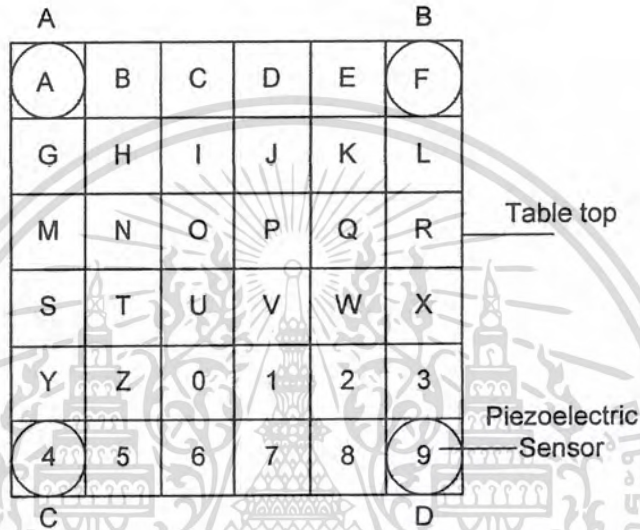
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิธีการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

ได้ทำการเคาะหรือกดลงบนช่องตารางที่มีการระบุตำแหน่งที่แนบดังรูปที่ 4.1 เพื่อหาค่าตำแหน่งที่แน่นอนในแต่ละช่อง



รูปที่ 4.1 แสดงพื้นระนาบที่มีการแบ่งช่องและระบุตำแหน่ง

เมื่อมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้น เปียโซอิเล็กทริกทั้ง 4 ตัวที่วางไว้แต่ละมุมของพื้นระนาบจะรับค่าการสั่นสะเทือนแล้วทำให้เกิดประจุไฟฟ้าออกมาเข้าสู่วงจรส่วนรับสัญญาณ ตามรูปที่ 3.2 ค่าที่ออกมาจากวงจรส่วนนี้จะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งพีดีทีเทคเตอร์จะคงค่าๆนั้นไว้แล้วทำการส่งแรงดันค่านี้เข้าสู่ Arduino board ต่อไป ดังรูปที่ 3.4

จากนั้นสัญญาณจะถูกนำมาผ่านระบบ ADC กลายเป็นสัญญาณดิจิทัล และค่าสัญญาณนี้จะถูกนำไปคำนวณผ่านสมการชุดที่ 1 แล้วนำค่าหรือตำแหน่งที่ได้ไปแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD

เราจะทำการทดลองอย่างนี้ซ้ำไปเรื่อยๆ โดยเคาะหรือออกแรงกดลงไปที่ตำแหน่งในตารางช่องเดิมเพื่อหาค่าคงที่ของตำแหน่ง ณ แรงกดนั้น เมื่อเราได้ค่าที่ค่อนข้างแน่นอนแล้ว จึงทำการบันทึกผลลงไป แล้วทำการเคาะหรือออกแรงกดไปที่ตารางช่องอื่นต่อไป โดยทำการทดลองซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ค่าคงที่ ณ แรงกดนั้นครบทุกช่องบนพื้นผิวระนาบ

4.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงระดับแรงดันที่เป็ยโซอิเล็กทริกจ่ายและตำแหน่งหลังการคำนวณ

ช่อง	ชุดตัวอย่างผลการทดลอง (1/5)	จำนวนครั้งที่กดถูกทั้งหมด	% ความแม่นยำทั้งหมด
A	BHHBG ABBGH AGGGH BGHAB	15	15
B	HICGH BACCH HGIII HCHBI	13	13
C	BBHII IJJHC JDHHJ CCJHI	15	15
D	DJJJK JKKKI CDJJK DEJJK	11	11
E	KKKLL JKFE EJJKL LEDJK	5	5
F	EFKLE JKKLE KLLLE LFKLL	6	6
G	NMHHH MNMAM GNNMM GHIII	12	12
H	NNOON MNNOH HINON NMIHH	17	17
I	NOOPP PPPOP NCJII IOOIN	16	16
J	JJPPP POQQQ QPPPO IILJQ	14	14
K	QQOPP PRLLL KKOPP PRQQ	9	9
L	FRRQP PRRRP LPQQQ QQLQL	8	8
M	HSSNS TTUSM MMNST TTTSS	15	15
N	TTUUU OUUTT NOOTS SSTTT	16	16
O	JPUTO OHOPN PPVVV PNONN	35	35
P	TVUUQ UOUUU QPOWP JJPII	33	33
Q	WVXKP WPVPQ XPQPP JPPPP	14	14
R	LXWWX QRRXX XWLKQ XXLIV	10	10
S	YYZZZ TZYYZ SSMTT TZZZY	17	17
T	NNUZY YYZZO 000ZY TTTUY	20	20
U	000ZP PV00U Z0VTT TV0ZZ	37	37
V	11101 221WW WUUQP P0001	40	40
W	VVVVX XRQRX 22312 PXXW2	13	13
X	33223 WWVRV RQQXX 223XX	11	11
Y	STTTZ ZT4Y YY5ZT TTTZS	14	14
Z	TTTTU 055TY YYT0Z 06SST	11	11
0	1116U UUVTT Z0001 77665	14	14
1	11288 8VVUU 0ZW28 88766	12	12
2	88899 9377X XXW21 33398	6	6
3	22WXX 98892 WWWX2 22899	3	3
4	455ZZ ZZYYY TY555 5554Y	14	14
5	66000 0ZZZZ Y5546 60U44	17	17
6	11717 50050 066ZV 61755	15	15
7	61100 78211 W2213 82210	5	5
8	71111 12321 73331 22177	6	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำางงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	89392 1W222 38882 22333	10	10
---	-------------------------	----	----

จากตารางผลการทดลอง ค่าที่ได้เกิดจากแรงตกกระทบจะเกิดสัญญาณไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ผลึก piezo ข่ายออกมา และเกิดสัญญาณไฟฟ้าขนาดเล็กลงตามลำดับกับผลึก piezo ที่ตำแหน่งห่างออกไป ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะพบว่าค่าที่ได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง เกิดความคลาดเคลื่อนของแรงตกกระทบที่จุดใกล้เคียงกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เราสามารถใช้หลักการของผลึกเปียโซอิเล็กทริกนำมาใช้เป็นตัวเซนเซอร์ในการหาตำแหน่งการเกิดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งในโครงการนี้ได้นำมาจับตำแหน่งแรงที่กระทบในระนาบสองมิติ แล้วทำการอ่านข้อมูลสัญญาณความสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์ตรวจจับทั้ง 4 ตัว โดยวัดจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าที่ได้เกิดจากแรงตกกระทบจะเกิดสัญญาณไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ผลึกเปียโซจ่ายออกมาจากผลึกที่อยู่ใกล้ที่สุด และเกิดสัญญาณไฟฟ้าขนาดเล็กลงตามลำดับกับผลึกเปียโซที่ตำแหน่งห่างออกไปและจะพบว่าค่าที่ได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง เกิดความคลาดเคลื่อนของแรงตกกระทบที่จุดใกล้เคียงกัน

ซึ่งผลที่คลาดเคลื่อนเกิดจากความไม่สัมพันธ์กันระหว่างขอบเขตการตรวจจับสัญญาณของเปียโซอิเล็กทริก และ ขนาดของเป็นสัมผัส

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ซึ่งมีปัจจัยหลักคือ ความสมมาตรของฐานและระยะที่เปียโซอิเล็กทริกแต่ละตัวตรวจจับได้นั้น ไม่เหมาะสมกับขนาดของแผ่นเป็นพิมพ์สัมผัส ทำให้ค่าที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน

อีกทั้งยังต้องมีการปรับจูนค่าอัตราขยายใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งในการวางอุปกรณ์

5.3 ปัญหาและแนวทางการพัฒนาต่อ

ในส่วนฐานและระนาบควรมีการคำนวณเชิงกลเพื่อความสมมาตร และควรทำการหาระยะตรวจจับของเปียโซอิเล็กทริกแต่ละตัวก่อน แล้วจึงทำขนาดของเป็นสัมผัส

ควรนำปัจจัยด้านเวลาไปใช้ในการคำนวณหาพิกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาย สุภาพ, วันชัย ธีรภูษา, ธีศิลป์ ทุมวิภาต และสุมาลี อุณหวิชัย, การหาคำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน
- [2] นวพล งามลิขิต และ สมชาย สุภาพ, ระบบการวัดความสั่นสะเทือนของวัตถุที่มีการเคลื่อนไหว, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2541
- [3] วิภาสิริ วัฒนปัญจพล และ ศิษฏ์ วัชชงเงิน, การหาคำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2543
- [4] <http://beyondthekeyboard.wordpress.com/2009/08/27/building-a-pressure-sensitive-touch-surface/>
- [5] <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=95>
- [6] http://www.pcb.com/techsupport/tech_gen.php
- [7] http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/ceramic_sensor/Frame_index2.htm
- [8] <http://metroble.blogspot.com/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้