

การพัฒนาสร้างเครื่องมือทดสอบวงวนฮีสเทอรีซิสของค่าโพลาริเซชัน และสนามไฟฟ้าสำหรับวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก

Development of the Polarization-Electric Field Hysteresis Loop Measurement Set for Ferroelectric Materials

เจียรนัย เล็กอุทัย*, เบนญา เชิดหิรัญกร และจักรวธ พานิชโยทัย

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Jearanai Lekuthai*, Benya Cherdhirunkorn and Jakrawut Panityotai

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

วัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกมีบทบาทสำคัญในเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในปัจจุบัน ได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์กีฬา อุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์ และจอภาพดิจิทัล เป็นต้น ดังนั้นระบบการวัดทดสอบสมบัติของวัสดุเหล่านี้จึงมีความสำคัญยิ่ง งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้ทดสอบ polarization-electric fields Loop ของวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกตามวิธีการของ Sawyer Tower โดยออกแบบวงจร high speed ADC ให้ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เพื่อควบคุมการทำงานของ function generator และ high voltage amplifier แล้วนำข้อมูลสนามไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการวัดตัวอย่างส่งผ่านระบบ USB ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อเก็บข้อมูลและประมวลผล โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะใช้โปรแกรมภาษา C และใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ควบคุม ประมวลผลในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถแสดงผลการวัดในรูปของกราฟ P-E และสามารถเก็บข้อมูลในรูปของแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีได้ในภายหลัง จากการทดสอบพบว่าเครื่องมือสามารถใช้งานภายใต้สนามไฟฟ้าสูงสุดที่ป้อนให้กับวัสดุตัวอย่างมีค่าไม่เกิน 5,000 โวลต์ต่อมิลลิเมตร วัดที่ค่าความถี่ไม่เกิน 4,000 Hz และอุณหภูมิไม่เกิน 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนและงานวิจัยด้านวัสดุศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง

คำสำคัญ : P-E loop measurement; ferroelectric property; dielectric property; piezoelectric material

Abstract

Ferroelectric materials play an important role in current new technologies such as mobile phone, sport equipment, medical device and digital display, etc. Therefore, the measurement

systems for evaluating the properties of these materials are important. In this work, Polarization-Electric Field loops measurement system was developed for determining the dielectric properties at high electric field strengths of ferroelectric materials. The Sawyer and Tower circuit was employed in this work. High speed ADC circuit incorporating with PIC microcontroller was designed in order to control a function generator and a high voltage amplifier. The C program and Visual Basic 6.0 were used for controlling the operating system. A sinusoidal test signal at a range of frequency up to 4,000 Hz and the electric field in the range up to 5,000 V/mm can be generated and applied to an electrode disk specimen, which is placed in a specimen holder designed to enable the specimen to be heated up to 150 °C. The polarization was calculated from the stored charge during the applied electric field, enabling the P-E hysteresis loop to be plotted and shown on the PC monitor. The P-E loops measurement system developed in this project work can be a very useful tool for researchers and students working in this field.

Keywords: P-E loop measurement; ferroelectric property; dielectric property; piezoelectric material

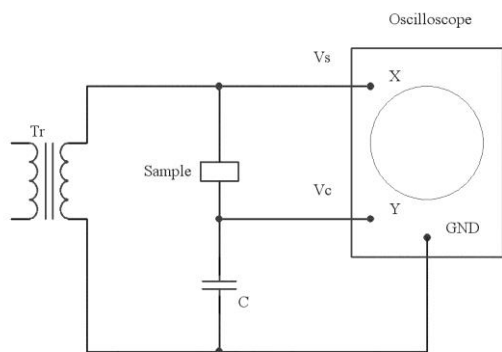
1. บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางด้านต่าง ๆ ก้าวหน้าไปมาก และได้มีการนำวัสดุประเภทต่าง ๆ มาใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยี โดยมีแนวโน้มที่จะใช้วัสดุที่มีสมบัติพิเศษต่าง ๆ มากขึ้น และเครื่องมืออุปกรณ์หลายประเภท มีส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้วัสดุที่มีสมบัติเพียโซอิเล็กทริก ได้แก่ ในอุปกรณ์โทรศัพท์แบบเคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์ รถยนต์ เครื่องบิน เครื่องกังหันลม และเครื่องเตือนไฟ เป็นต้น [1] ในประเทศไทยนั้นการผลิตวัสดุประเภทยังมีไม่มาก โดยมากจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุประเภทยังมีความสำคัญยิ่งในการช่วยพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบสมบัติของวัสดุที่ผลิตขึ้นมาใช้ก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน ซึ่งสำหรับในประเทศไทยแล้วเครื่องมือวัดสมบัติต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในหน่วยงานของรัฐและเอกชนส่วนใหญ่มักเป็นเครื่องมือที่นำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง

มาก รวมทั้งเป็นเครื่องมือสำเร็จรูปที่ทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถปรับปรุงเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้หลากหลายได้ ดังนั้นการพัฒนาต่อเชื่อมเครื่องมือและชุดควบคุมเครื่องมือขึ้นใช้เองภายในประเทศจึงมีความสำคัญ ทำให้สามารถนำเครื่องมือไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายและประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องมือ ทั้งยังเป็นการพัฒนาความรู้และความเชี่ยวชาญให้เกิดขึ้นภายในประเทศ รวมทั้งยังเป็นการส่งเสริมการวิจัยที่ต้องใช้เครื่องมือวัดประเภทนี้ต่อไปในอนาคตอีกด้วย

สำหรับเครื่องมือทดสอบวงวนฮิสเทอรีซิสของค่าโพลาริเซชันและสนามไฟฟ้าสำหรับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกนี้เป็นการเชื่อมต่อเครื่องมือโดยใช้หลักการของ Sawyer และ Tower [2] ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการทดสอบวัดค่าโพลาริเซชันของวัสดุภายใต้สนามไฟฟ้าความเข้มสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องมือ



รูปที่ 1 วงจรวัด ferroelectric polarization โดย Sawyer และ Tower [2]

การรายงานวิจัยพบว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกนั้นถูกพบในปี ค.ศ. 1880 โดยสองพี่น้องตระกูลคูรี คือ ปีแอร์และจ๊าก คูรี (Pierre & Jacques Curie) โดยที่ทั้งสองได้ทำการทดลองในวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ แร่ทัวร์มาลีน (tourmaline) แร่ควอตซ์ (quartz) แร่โทปาส (topaz) และเกลือโรเชล (rochell salt) [3,4] ซึ่งพบว่าเมื่อให้แรงเค้นทางกล (mechanical stress) แก่วัสดุเหล่านี้ เราสามารถวัดค่าประจุบนผิวของวัสดุเหล่านี้ได้ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุสามารถให้กระแสไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแรงทางกลมากระทำ และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect)” หรือ “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางตรง (direct piezoelectric effect)” ซึ่งคำว่า “piezo” นั้นเป็นคำที่มาจากภาษากรีก “piesien” แปลว่า การบีบกด (squeeze) เมื่อรวมกับคำว่า “electric” ซึ่งแปลว่า ไฟฟ้า ก็จะได้ความหมายตามปรากฏการณ์ที่ค้นพบ คือ วัสดุสามารถให้ประจุไฟฟ้าออกมาได้โดยการบีบกดที่วัสดุ ส่วนวัสดุที่แสดงปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “วัสดุเพียโซอิเล็กทริก” อันที่จริงแล้ววัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถให้ผลในทางกลับกัน กล่าวคือ เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่วัสดุนี้วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่ง

เราเรียกปรากฏการณ์ในทางกลับกันนี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกแบบผกผัน (converse piezoelectric effect)” ในบรรดาผลึกที่มีความเป็นเพียโซอิเล็กทริก มีวัสดุกลุ่มหนึ่งที่ผลึกมีความเป็นเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric) ซึ่งเป็นวัสดุแสดงการเกิดโพลาริเซชันได้ด้วยตัวมันเอง (spontaneous polarization) ซึ่งทิศทางของการโพลาริเซชัน (polarization direction) สามารถที่จะกลับทิศได้ด้วยการให้สนามไฟฟ้าจากภายนอก ซึ่งลักษณะเฉพาะหนึ่งของวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก กล่าวคือ การมีวงวนฮิสเทอรีซิสของโพลาริเซชันกับสนามไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า “P-E loop” โดยเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าให้แก่วัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้า (Q) ซึ่งค่าโพลาริเซชัน (P) คำนวณได้จากประจุไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (A) ดังสมการ $P = Q/A$ (1)

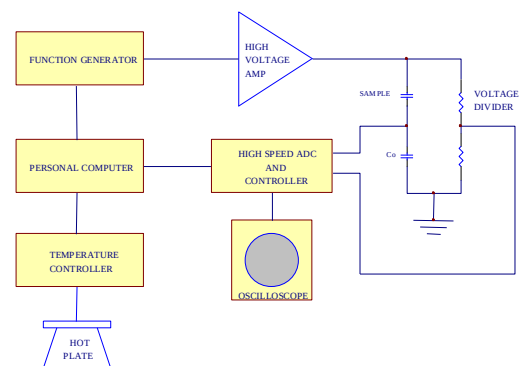
Sawyer และ Tower ได้คิดวิธีการวัดค่าสนามไฟฟ้า (E) ที่ป้อนให้กับวัสดุ และทำการวัดค่าประจุ (Q) ที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกปลดปล่อยออกมาหรือรับเข้าไปโดยใช้วงจรแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งในวงจรใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer, Tr) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับตัวอย่างที่นำมาทดสอบ (sample) และนำตัวเก็บประจุ (capacitor, C) ที่มีค่าเก็บประจุสูงมากมาต่ออนุกรมเข้ากับวงจร โดยจะทำหน้าที่รวบรวมประจุที่ได้จากตัวอย่างที่นำมาทดสอบค่าสนามไฟฟ้า (E) ที่เกิดจากการป้อนแรงดันของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ณ ขณะใด ๆ (instantaneous voltage, V_s) ให้กับวัสดุตัวอย่าง มีความสัมพันธ์กันดังสมการ $E = V_s/th$ (2) โดยค่า th คือ ความหนาของวัสดุในหน่วยมิลลิเมตร

ค่าประจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ $Q = C V_c$ (3) โดย Q คือ ประจุในหน่วยคูลอมป์ (Coulomb) โดย C คือ ค่าความจุ (capacitance) ในหน่วยฟารัด (Farad) และ V_c คือ แรงดันตกคร่อมตัว

เก็บประจุ ในหน่วยโวลต์ (Volt) จากสมการที่ (1) และสมการที่ (3) จะได้ค่าโพลาริเซชัน (P) ที่แปรผันกับค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) ดังสมการ $P = C V_c / A$ (4) และพบว่าค่าแรงดัน V_s แปรผันกับสนามไฟฟ้า E ด้วยเช่นกัน

Sawyer และ Tower ได้นำเอาสัญญาณ V_s และ V_c มาป้อนเข้าเครื่องออสซิลโลสโคป โดยการป้อนค่าแรงดัน V_s จากหม้อแปลงเข้าทางแกน X (แกนนอน) และค่าแรงดัน V_c ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้า C ป้อนเข้าทางแกน Y (แกนตั้ง) ซึ่งจะได้กราฟแสดง

ความสัมพันธ์ของเฟอร์โรอิเล็กทริกฮิสเตอร์ซิส ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาการต่อเชื่อมเครื่องมือและวงจรไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องมือวัดสามารถทำการวัดค่าโพลาริเซชันได้ที่สนามไฟฟ้าความเข้มสูงและพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ ให้ใช้งานง่ายและเป็นมิตรกับผู้ใช้ รวมทั้งสามารถเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลไว้ใช้งานในขั้นต่อไป เช่น การนำววนฮิสเทอรีซิสไปวิเคราะห์ แล้วคำนวณค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก



ระบบการทำงานของเครื่องมือวัดประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- Personal computer ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ
- Function generator ทำหน้าที่กำเนิดรูปคลื่นสัญญาณแรงดัน
- High voltage amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแรงดันจาก function generator ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
- High speed ADC (HSADC) และวงจรควบคุม controller ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์
- Oscilloscope แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_0 และแรงดันจากไฟฟ้าแรงสูงที่ป้อนให้กับวัสดุตัวอย่างผ่านทางชุดตัวต้านทาน Divider Resistor
- Voltage divider (divider resistor) หรือ attenuator ทำหน้าที่แบ่งแรงดันให้ต่ำลงเพื่อให้มีค่าเหมาะสมกับสัญญาณอินพุตของ HSADC
- Temperature controller ทำหน้าที่ควบคุมความร้อนที่เกิดจาก hot plate ซึ่งใช้อุณหภูมิที่ทดสอบ

รูปที่ 2 การต่อเครื่องมือวัดและแผนผังการทำงานของเครื่องมือทดสอบววนฮิสเทอรีซิสของโพลาริเซชันและสนามไฟฟ้า

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ระบบการทำงานของเครื่องมือวัด

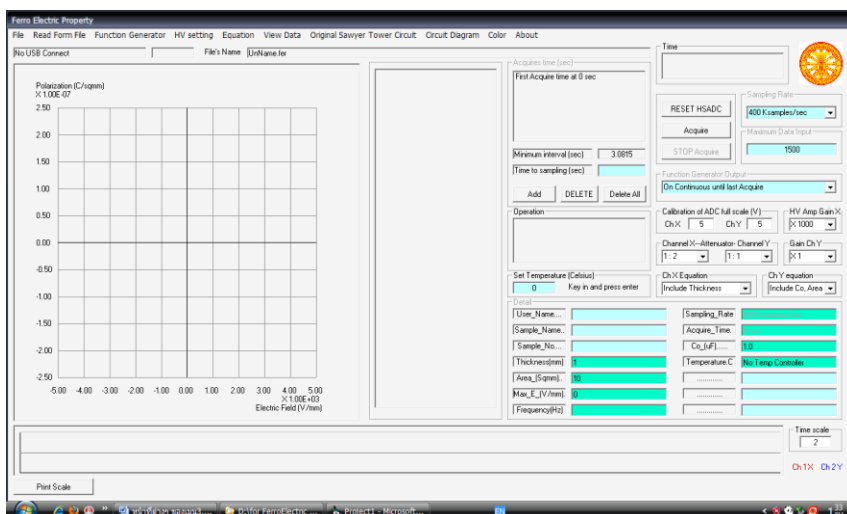
ในการออกแบบจะอาศัยพื้นฐานการวัดของ Sawyer และ Tower ซึ่งใช้ทดสอบหาวงวนฮิสเทอรีซิสของวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการต่อเครื่องมือและเขียนเป็นแผนผังการทำงานของเครื่องมือทดสอบได้ดังรูปที่ 2

เมื่อคอมพิวเตอร์สั่งให้ระบบเริ่มทำงาน function generator จะส่งสัญญาณรูปคลื่นออกไปยัง high voltage amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดแรงขึ้นขนาด 1,000 เท่า แล้วป้อนสัญญาณเข้าไปสู่วัสดุตัวอย่าง เมื่อวัสดุตัวอย่างได้รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่วัสดุตัวอย่าง ทำให้วัสดุตัวอย่างปลดปล่อยประจุไฟฟ้าออกมา ซึ่งประจุไฟฟ้านี้จะถูกสะสมในอยู่ในตัวเก็บประจุ Co และเกิดสัญญาณแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุดังกล่าว ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยอาศัยวงจร HSADC ที่ช่องสัญญาณ channel Y ส่วนสัญญาณแรงดันสูงที่ได้จาก high voltage amplifier ก็จะถูกลดทอนโดยวงจร voltage divider (attenuator) แล้วป้อนเข้าสู่วงจร HSADC อีกช่องสัญญาณ channel X จากนั้น

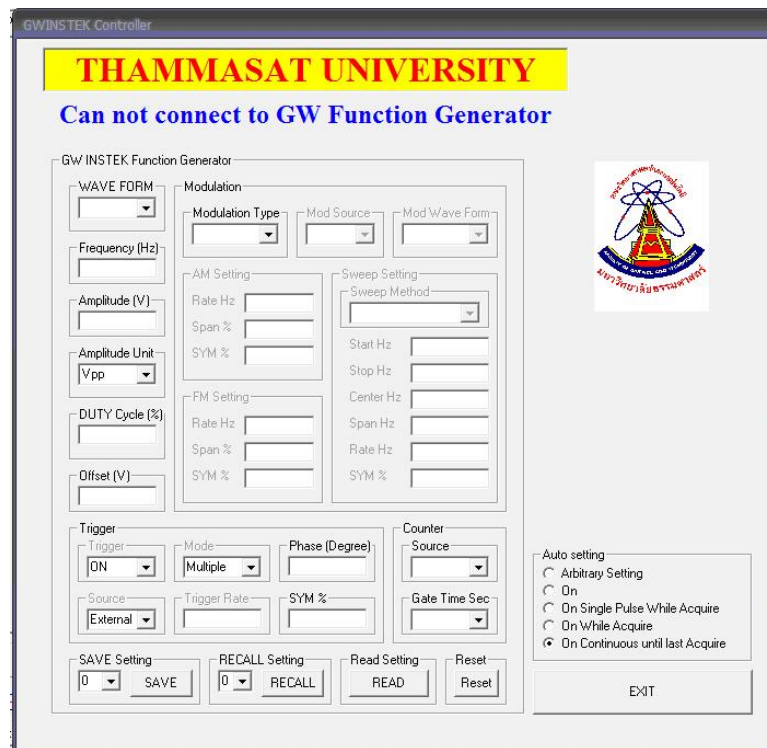
สัญญาณทั้งสองจะถูกป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประมวลผลข้อมูลดิจิทัลที่ได้และแสดงผลในรูปกราฟ XY บนจอแสดงผล และในขณะเดียวกันเครื่อง oscilloscope รับสัญญาณแรงดันอนาล็อกทั้งสองสัญญาณเพื่อแสดงลักษณะกราฟ XY ในแบบ real time บนหน้าจอของเครื่อง oscilloscope เพื่อใช้ตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากหน้าจอแสดงผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบวัสดุตัวอย่างจากหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์นี้อีกด้วย

2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดสร้างขึ้นโดยใช้ภาษา Visual Basic 6.0 ซึ่งการทำงานจะเริ่มตั้งแต่ควบคุมสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการตั้งค่า function generator เก็บข้อมูลในรูปแบบ sequential file นำมาประมวลผล สามารถแสดงออกในรูปของกราฟวงวนฮิสเทอรีซิส และควบคุมการทำงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง แสดงเมนูหลัก และหน้าจอเมนูควบคุมการตั้งค่า function generator ดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 หน้าจอเมนูหลัก



รูปที่ 4 หน้าจอโปรแกรมควบคุมการทำงานของ function generator



รูปที่ 5 อุปกรณ์จับชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 6 ชุดประกอบอุปกรณ์จับชิ้นงานและการป้องกันด้วยกรงฟาราเดย์

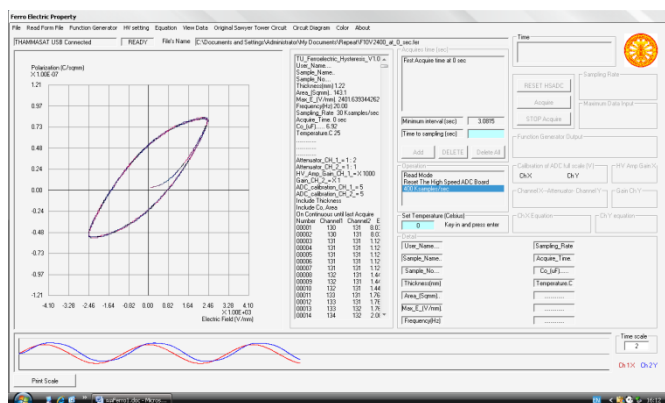
2.3 การออกแบบอุปกรณ์จับชิ้นงานตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่จับตัวอย่างและต่อเชื่อมสายไฟฟ้าแรงสูงไปยังตัวอย่าง อุปกรณ์จับตัวอย่างจะต้อง

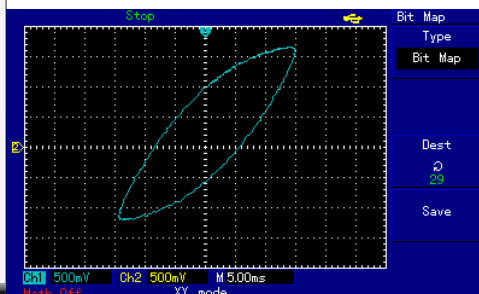
ไม่จับตัวอย่างแน่นจนเกินไปเพราะจะก่อให้เกิดแรงกระทำต่อตัวอย่างดังนั้นการเลือกสปริงที่ใช้กดจับ

ตัวอย่างไว้ไม่ควรมีค่า K (ค่านิจสปริง, spring constant) มากเกินไป แสดงดังรูปที่ 5 อุปกรณ์จับชิ้นงานตัวอย่างนี้จะอยู่ในอ่างน้ำมันซิลิโคนที่ตั้งอยู่บนเตาไฟฟ้าที่สามารถปรับอุณหภูมิได้จากหน้าจอควบคุม

และในการออกแบบอุปกรณ์บริเวณที่ต้องมีการป้อนสนามไฟฟ้าความเข้มสูงทั้งหมดนี้จะอยู่ในกรงฟาราเดย์ ซึ่งเป็นการป้องกันไฟฟ้ารั่ว ดังรูปที่ 6



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 วัดที่สนามไฟฟ้าสูงสุด 2,400 โวลต์ต่อมิลลิเมตร (ก) ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่วัดได้จากระบบที่สร้างขึ้น และ (ข) ภาพเปรียบเทียบจากการวัดโดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปในขณะเดียวกัน

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการวัดค่าวงฮิสเทอรีซิสของวัสดุตัวอย่าง

วัสดุตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต PZT ทำการทดลองวัดที่สนามไฟฟ้าต่าง ๆ กัน แล้วบันทึกผลที่ได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับหน้าจอภาพของ oscilloscope แสดงดังรูปที่ 7ก และ 7ข

จากผลการวัดพบว่าภาพสัญญาณที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นบนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเดียวกันกับภาพที่ปรากฏบนจอของเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) ข้อดีคือสามารถบันทึกข้อมูลได้ตั้งแต่เริ่มป้อนสนามไฟฟ้าให้กับวัสดุตัวอย่างจนกระทั่งสิ้นสุดการทำงาน กล่าวคือ เมื่อเริ่มป้อนค่าสนามไฟฟ้า เส้นกราฟ XY จะเริ่มปรากฏบนหน้าจอภาพที่จุดศูนย์กลางของสเกลของจอภาพ

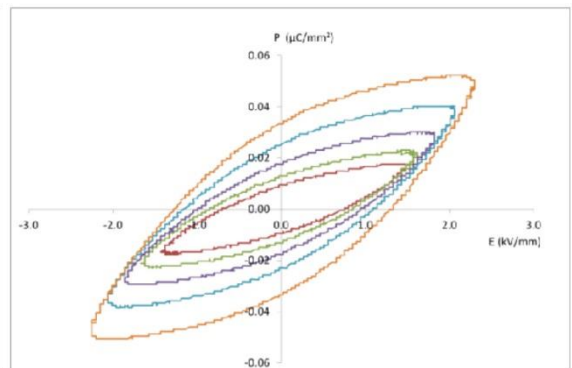
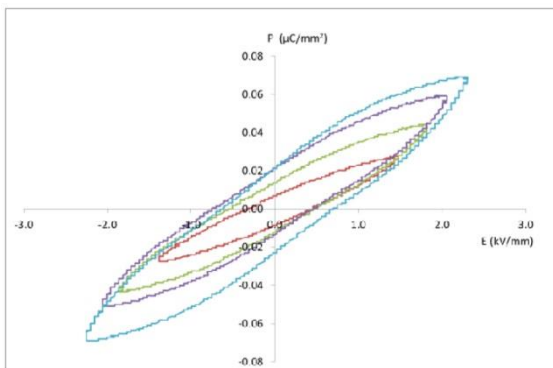
มอนิเตอร์ และแสดงวงวนฮิสเทอรีซิสหลาย ๆ วงซ้อนกันไป และสามารถเลือกข้อมูลเฉพาะวงรอบใดวงรอบหนึ่งขึ้นมาวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลัง ซึ่งแตกต่างเครื่อง oscilloscope ที่แสดงออกมาได้เพียงวงรอบเดียว

3.2 การทดสอบวัสดุที่แตกต่างกัน

จากการวัดค่าประจุไฟฟ้าที่ได้จากชิ้นงานเมื่อป้อนสนามไฟฟ้าความเข้มต่าง ๆ ตั้งแต่ 1.4 ถึง 2.2 kV/mm โปรแกรมที่เขียนขึ้นจะนำค่าประจุไฟฟ้าที่วัดได้ไปคำนวณค่าโพลาริเซชัน และเก็บเป็นข้อมูลในรูปแบบไฟล์ที่สามารถนำมาเขียนกราฟได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างโปรแกรม Excel ได้ผลดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของวงฮิสเทอรีซิสที่ได้เมื่อให้สนามไฟฟ้าความเข้มต่าง ๆ ของชิ้นงานเซรามิก PZT ที่เจือด้วยฟลูออรีน (fluorine, F) 1 mol % (1 % F PZT) และ 10 mol % (10 % F PZT) ซึ่งพบว่า

ลักษณะวงวนฮีสเทอรีซิสของชิ้นงานเซรามิก 1 % F PZT มีลักษณะวงแคบกว่าวงวนฮีสเทอรีซิสของชิ้นงานเซรามิก 10 % F PZT เมื่อให้ค่าสนามไฟฟ้าที่เท่ากัน โดยเห็นลักษณะของวงที่มีลักษณะบีบตรงกลางใน 1 % F PZT ซึ่งแสดงถึงการที่โดเมนเกิดการเรียงทิศได้ยากกว่า และจากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวโดป F ที่มากขึ้นนั้นส่งผลให้การเรียงทิศโพลาริเซชันในชิ้นงานเกิดได้ง่ายกว่าโดยดูได้จากลักษณะของ

วงวนฮีสเทอรีซิสที่มีค่าโพลาริเซชันคงค้าง (remnant polarization) สูงกว่า จากผลการวัดค่าด้วยชุดทดลอง P-E hysteresis loop ที่สร้างขึ้นนี้ พบว่ามีแนวโน้มเป็นไปตามผลที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้าของ Cherdhirunkorn และคณะ [5] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดเครื่องมือทดสอบที่สร้างขึ้นมานี้ให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้



รูปที่ 9 กราฟวงวนฮีสเทอรีซิส P-E ของชิ้นงาน 1 % F PZT และ 10 % F PZT เปรียบเทียบลักษณะของวงจากสนามไฟฟ้าความเข้ม 1.4 ถึง 2.2 kV/mm

4. สรุป

การทดสอบเครื่องมือวัดค่าวงวนฮีสเทอรีซิสพบว่าระบบสามารถเก็บข้อมูลของแรงดันที่ป้อนให้กับวัสดุ และแรงดันที่เกิดจากประจุไฟฟ้าที่วัสดุตัวอย่างปลดปล่อยออกมาในเวลาเดียวกันได้ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละจุดเพียง 2.5 ไมโครวินาที โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลสูงสุด (sampling rate) 400,000 ข้อมูลต่อวินาที ในลักษณะข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 bit ข้อมูลที่ได้นำไปแสดงผลของวงวนฮีสเทอรีซิสและเก็บข้อมูลลงสู่ไฟล์ได้อย่างถูกต้องและมีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟ XY ที่ปรากฏบนจอออกสซิลโลสโคป โดยสามารถป้อนสนามไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 5,000 โวลต์ต่อมิลลิเมตร และความถี่สูงสุดไม่เกิน 4,000 Hz

อย่างไรก็ตาม ในการทำงานของระบบมีข้อบกพร่อง คือ ข้อมูล ณ จุดแรกสุดที่ได้จากวงจร HSADC นั้น จะถูกตัดทิ้งไปซึ่งเกิดจากการไม่ synchronize กันระหว่างสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจร มีสาเหตุมาจากในการสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ trigger ไปยัง function generator เพื่อให้ปลดปล่อยสัญญาณออกมากับช่วงจังหวะที่วงจร HSADC เริ่มทำการเก็บข้อมูลไม่สอดคล้องกันในช่วงเวลาเดียวกันอย่างแท้จริง เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องทำงานที่ละคำสั่งจึงเกิดล่าช้า (delay time) ในช่วงเวลาดังกล่าว และอีกสาเหตุหนึ่ง คือ วงจร clock and timer generator จะส่งสัญญาณออกมาตลอดเวลาทำให้สัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกมาครั้งละ 6 พัลส์ ที่ป้อน

ให้กับวงจร HSADC นั้น อาจจะอยู่ในช่วงระหว่างสัญญาณนาฬิกาถูกใดลูกหนึ่งในจังหวะที่ส่งคำสั่งให้เริ่มเก็บข้อมูลทำให้วงจร ADC0802 ได้รับสัญญาณนาฬิกาไม่ครบ 6 พัลส์ ระบบจึงไม่สามารถเก็บข้อมูล ณ จุดแรกสุดได้อย่างสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าของข้อมูล ณ จุดแรกสุดที่ขาดหายไปนั้นไม่มีนัยสำคัญใด ๆ เพราะในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลของวงรอบฮิสเทอรีซิสนั้น ผู้วัดสามารถเลือกเก็บข้อมูลในช่วงเวลาใด ๆ ก็ได้สำหรับการสร้างรูปกราฟให้ได้ 1 cycle หรือ 1 loop จึงกล่าวได้ว่าเครื่องมือวัดที่ออกแบบขึ้นนี้สามารถใช้งานได้จริงและมีหน้าจอบริการการทำงานของเครื่องมือทดสอบและการใช้งานที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้งาน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์สงขลา ที่ให้การอนุเคราะห์สอยเทียบเครื่องมือ

6. รายการอ้างอิง

- [1] Swartz, S.L., 1990, Topics in Electroceramics, IEEE Trans. Elec. Insul. 25: 935-987.
- [2] Jeffe, B., Cook, W. and Jeffe, H., 1971, Piezoelectric Ceramics, Academic Press Inc., (London) Ltd., London.
- [3] Valasek, J., 1922, Piezoelectric Activity of Rochelle Salt under Various Conditions, Phys. Rev. 2: 478-491.
- [4] Frayne, J.G., 1923, The Reversible Inductivity of Rochelle Salt Crystals and Its Relation to Frequency and Temperature, Phys. Rev. 21: 348-359.
- [5] Cherdhirunkorn, B., Reunpakdan, S., Snith, A., Hall, D.A. and Laorattanakul, P., 2010, The Use of PbF₂ for Low Temperature Sintering of Lead Zirconate Titanate Ceramics, Integ. Ferroelec. 114: 64-71.