

การตรวจสอบไมโครแอกชูเอเตอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริกโดยใช้คุณสมบัติ
การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าขณะให้ความร้อน

INSPECTION OF PIEZOELECTRIC MICROACTUATOR BASED-ON
HEAT-ASSISTED CAPACITIVE MEASUREMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561
KMITL-2018-EN-M-040-022

การตรวจสอบไมโครแอกชูเอเตอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริกโดยใช้คุณสมบัติ
การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าขณะให้ความร้อน

INSPECTION OF PIEZOELECTRIC MICROACTUATOR BASED-ON
HEAT-ASSISTED CAPACITIVE MEASUREMENT




วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561
KMITL-2018-EN-M-040-022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSPECTION OF PIEZOELECTRIC MICROACTUATOR BASED-ON
HEAT-ASSISTED CAPACITIVE MEASUREMENT

EKKACHAI PAIKAW

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with a crown on top, flanked by two tiered stupas. The entire design is surrounded by a decorative border with Thai script. The text within the seal includes 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) and 'คณะวิศวกรรมศาสตร์' (Faculty of Engineering).

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTROCAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-040-022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบไมโครแอกซูเอเตอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริกโดยใช้ คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าขณะให้ความร้อน
นักศึกษา	นายเอกชัย ไม้แก้ว
รหัสประจำตัว	56601175
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. กสิน วิเชียรชม

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและการเครื่องสร้างต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบความบกพร่องของไมโครแอกซูเอเตอร์ที่สร้างจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (PZT) ชนิดเซรามิกฟิล์มบางและวงจรควบคุม สำหรับใช้งานในหัวอ่านและหัวเขียนของฮาร์ดดิสไดรฟ์ เครื่องต้นแบบสามารถตรวจสอบความบกพร่องของไมโครแอกซูเอเตอร์และวงจรควบคุมที่เกิดจากสาเหตุการเชื่อมต่อที่ไม่สมบูรณ์ของวงจรควบคุมที่ทำให้เกิดการเปิดวงจร การตรวจสอบความบกพร่องใช้คุณสมบัติสองประการของ PZT กล่าวคือ ประการแรก PZT มีวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าเป็นตัวเก็บประจุ หากมีการเชื่อมต่อของวงจรที่สมบูรณ์จะสามารถวัดค่าความจุไฟฟ้าที่แน่นอนได้ค่าหนึ่ง ประการที่สองค่าความจุไฟฟ้าดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอันเนื่องจากการที่ค่าความยินยอมสัมพัทธ์ทางไฟฟ้าของวัสดุ PZT มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ปัจจุบันในการตรวจสอบจะวัดค่าความจุไฟฟ้าสมมูลย์ของไมโครแอกซูเอเตอร์ผ่านทางจุดเชื่อมต่อกับวงจรควบคุม หากมีความบกพร่องเกิดขึ้นค่าที่วัดได้จะต่ำกว่าข้อกำหนด อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากในปัจจุบันวงจรควบคุมหนึ่งวงจรจะควบคุมไมโครแอกซูเอเตอร์พร้อมกันหลายตัว ดังนั้นวงจรเสมือนของวงจรควบคุมไมโครแอกซูเอเตอร์จึงประกอบด้วยไมโครแอกซูเอเตอร์หลายตัวต่อขนานกันอยู่ ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้เป็นค่าผลรวมของตัวเก็บประจุที่ขนานกันอยู่ หากวงจรที่เชื่อมต่อกับไมโครแอกซูเอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวมีการเปิดวงจร จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้ารวมที่วัดได้ลดลง แต่ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งของไมโครแอกซูเอเตอร์ที่เปิดวงจรได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ไปยังไมโครแอกซูเอเตอร์ที่ละตัวในเวลาเดียวกันการวัดค่าตัวเก็บประจุ หากมีการเปิดวงจรเกิดขึ้นที่ไมโครแอกซูเอเตอร์ตัวใดค่าความจุไฟฟ้ารวมที่วัดได้ขณะนั้นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถระบุตำแหน่งการเปิดวงจรได้ ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าทางสถิติพบว่าสามารถใช้งานได้จริงในสายการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	INSPECTION OF PIEZOELECTRIC MICROACTUATOR BASED-ON HEAT-ASSISTED CAPACITIVE MEASUREMENT
Student	Mr. Ekkachai Paikaw
Student ID.	56601175
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Kasin Vicienchom

ABSTRACT

This thesis describes the design and implementation of a prototype piezoelectric (PZT) micro-actuator testing device for read/write heads of a hard disk drive. The prototype tester can detect the defect of micro-actuator and its control circuitry caused by the open circuit. The technique used to detect is based-on the follows. First, a PZT micro-actuator has its equivalent circuit as a capacitor. Therefore, if there is a good connection between the control circuit and the PZT, its measured capacitance value between terminals of the control circuit will meet its specification. Secondly, due to temperature dependence of its dielectric constant, the capacitance value of PZT increases with temperature. Currently, only capacitor measurement is used for detecting the open circuit. However, as multiple read/write heads are stacked together and share the same control circuitry, the measured capacitance value is the sum of all PZTs. As a result, it is unable to identify which PZT is open circuit. To overcome this problem, this thesis proposes a technique that exploits the temperature dependent characteristic of the PZT. By carefully heating the PZT element while measuring its capacitance, the variation of its capacitance value can be observed. This profile is used to distinguish between a non-defected and a defected PZT circuitry. The prototype testing device employed this technique was implemented using a 5-watt green laser as the heating source. Experimental results show that when test with a hard disk drive head stack assembly (HSA) which is composed of multiple PZT actuators connected in parallel, it can identify a failed PZT actuator within seconds. To qualify this technique for production line, the experimental result using the prototype device were also analyzed statistically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนจาก บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นต้นสังกัดที่ให้การสนับสนุนในด้าน ทุนการศึกษา, เวลาเรียน ตลอดจน ความรู้ในการศึกษา การทดลอง และ การสร้างเครื่องทดสอบต้นแบบ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กสิน วิเชียรชม และ ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุล ที่ให้ กรรณาให้คำแนะนำ, ความช่วยเหลือ และ แก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณ คุณวิทยา แก้วพวง, คุณสมปอง ทรงงาม ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ และ ช่วยเหลือในการทำงานวิจัย, การทดลอง ด้วยดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบพระคุณกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณมลฤดี ไม้แก้ว ที่เป็นเสมือนคู่คิด ช่วยผลักดัน ช่วยเหลือในด้านการตรวจสอบการเขียนวิทยานิพนธ์ และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีใดๆที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

เอกชัย ไม้แก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ // อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หลักการทำงานของ ดูอัลสเตท ไมโครแอกซูเอเตอร์ [2].....	3
2.2 คุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....	8
2.3 การทบทวนงานวิจัยด้านการทดสอบความผิดปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปัจจุบัน.....	15
2.4 บทสรุป.....	26
บทที่ 3 แนวทางการแก้ปัญหา.....	27
3.1 คุณสมบัติทางอุณหภูมิจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....	27
3.2 การนำผลมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบความบกพร่องของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....	29
3.3 บทสรุป.....	30
บทที่ 4 การทดลอง และ ผลการทดลอง.....	31
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ของไมโครแอกซูเอเตอร์กับอุณหภูมิ.....	31
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานทดลองและการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า.....	33
4.3 แนวคิดและหลักการออกแบบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	39
4.4 การทดสอบเสถียรภาพเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ/หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5 การทดลองและผลการทดลอง.....	44
4.6 บทสรุป.....	53
บทที่ 5 บทสรุปและการพัฒนาในอนาคต.....	54
5.1 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนต้นแบบ.....	54
5.2 งานพัฒนาในอนาคต.....	54
อ้างอิง.....	56
เอกสารการตีพิมพ์.....	58
ECTI-CON 20016.....	59
ประวัติผู้เขียน.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกหรือค่าความยินยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ และ ค่าอุณหภูมิคูรีของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดต่างๆ.....	28
4.1 ข้อกำหนดในเสถียรภาพของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยการทดสอบซ้ำๆด้วยการทำงานคนเดิมและการทดสอบแบบหลายคนทดสอบ	36
4.2 ผลการทดสอบเครื่องวัดด้วยการทดสอบซ้ำๆ และการทำงานด้วยคนหลายๆคน	36
4.3 ข้อกำหนดในการทดสอบด้านความถูกต้อง หรือ เทียบกับเครื่องอ่านมาตรฐาน.....	36
4.4 ผลการทดสอบด้านความถูกต้อง หรือ เทียบกับเครื่องอ่านมาตรฐาน	37
4.5 ตารางคำนวณค่าทางสถิติ ($\bar{X} \pm 3s$) เพื่อหาค่ากำหนดขีดเริ่มเพื่อการทดสอบหัวอ่านในแต่ละค่าสถิติ.....	50
4.6 แสดงผลการคัดแยกหัวอ่าน/หัวเขียนที่ประกอบกับวงจรควบคุม ด้วยค่ากำหนดขีดเริ่มที่กำหนดจากค่าทางสถิติทั้ง 3 แบบ โดยอ้างอิงกับการใช้เครื่อง ePZT.....	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
1.1	แนวโน้มนำในการเพิ่มปริมาณข้อมูลในแผ่นดิสก์ [1]1
2.1	ชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบด้วยการขับเคลื่อนแบบคู่ (Dual Stage Actuator) โดยใช้งานวอยซ์คอยล์ มอเตอร์ ร่วมกับไมโครแอกชูเอเตอร์ (แสดง ในภาพขยาย) [3].....4
2.2	การทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าแบบตรงขั้ว, ไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้า และได้รับแรงดันไฟฟ้าแบบกลับขั้ว.....4
2.3	องค์ประกอบของ หัวอ่าน (Head Stack Assembly, HSA) [3].....5
2.4	แสดงการเชื่อมต่อหัวอ่าน เป็น 2 ชุด ชุดละ 5 หัวอ่าน ชุดที่ 1 (Hd1-Hd5) ควบคุมการทำงาน ด้วยวงจรมอเตอร์แอกชูเอเตอร์ (DSA1) และชุดที่ 2 (Hd6-Hd10)ควบคุมการทำงานด้วย วงจรมอเตอร์แอกชูเอเตอร์ (DSA2).....6
2.5	วงจรแสดงการเชื่อมต่อไมโครแอกชูเอเตอร์ 10 หัวอ่าน/หัวเขียน เมื่อแทนไมโครแอกชูเอเตอร์ แต่ละตัวด้วยตัวเก็บประจุ.....6
2.6	วัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีรอยแตกที่เกิดบนวัสดุทั้ง 2 แบบของเพียโซอิเล็กทริก ทั้ง ก) แบบดั้งเดิม และ ข) แบบใหม่..... 7
2.7	ลักษณะการเชื่อมต่อวงจรเพียโซอิเล็กทริกแบบสมบูรณ์และแบบมีข้อบกพร่อง ด้านซ้าย แสดงวงจรประกอบที่สมบูรณ์ ด้านขวาแสดงวงจรประกอบที่สายสัญญาณบิดตัว และเลื่อน ตำแหน่ง ทำให้ไม่สามารถเชื่อมวงจรหัวอ่านเข้ากับวงจรควบคุมได้.....8
2.8	การสร้างขั้วไฟฟ้าแก่เซรามิกภายใต้สนามไฟฟ้า ก) ก่อนการสร้างขั้วไฟฟ้า โมเลกุลเรียงขั้ว แบบสุ่ม ข) ขณะทำการสร้างขั้วไฟฟ้าโดยให้สนามไฟฟ้าจากภายนอกในทิศทางเดียว ทำให้โมเลกุลจัดเรียงขั้วตามแนวสนามไฟฟ้า ค) หลังการสร้างขั้วไฟฟ้า โมเลกุล ยังคงเรียง ขั้วตามแนวสนามไฟฟ้าที่ป้อน (ดัดแปลงจาก [4]).....9
2.9	ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก ก) เซรามิกผ่านการสร้างขั้วไฟฟ้าจัดเรียงตัวตามแนวสนามไฟฟ้า รูป ข) และ ค) แสดงปรากฏการณ์ทางตรง (direct effect) รูป ง) และ จ) แสดงปรากฏการณ์ ย้อนกลับ (reverse effect) หรือ มอเตอร์ (motor) (ดัดแปลงจาก [4]).....9
2.10	โมเลกุลปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ไม่มีแรงใดๆจากภายนอกกระทำ [2].....10
2.11	โครงสร้างประจุไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก.....10
2.12	การเกิดความหนาแน่นประจุเชิงผิวของเพียโซอิเล็กทริกเมื่อให้แรงกระทำจากภายนอก.....11
2.13	การไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีแรงกระทำจากภายนอกของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....11
2.14	ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรในสถานะที่ไม่มีแรงกระทำจากภายนอกบน วัสดุเพียโซอิเล็กทริก..... 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
2.15	วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ขณะยังไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้า.....12
2.16	วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ก) เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าตรงชั่วทำให้ วัสดุยืดตัวออกไป วัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงดันไฟฟ้ากลับชั่วทำให้วัสดุเกิดการหดตัว..... 13
2.17	ส่วนประกอบของต่างๆของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้งานจริงในหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....14
2.18	แบบจำลองทางไฟฟ้า วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ของ แวน ไดค์ (Van Dyke).....15
2.19	การให้แรงทางกลเข้าไปที่ปีกที่เป็นเหมือนแขนหัวอ่านซึ่งเป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เพื่อทำให้เกิดการสั่นและสร้างสัญญาณทางไฟฟ้า [6] 16
2.20	สัญญาณทางไฟฟ้าเมื่อการให้แรงทางกลเข้าไปที่ปีกของหัวอ่านซึ่งเป็นวัสดุเพียโซ- อิเล็กทริก ก) สัญญาณทางไฟฟ้า จากเพียโซอิเล็กทริกที่ปกติ ข) สัญญาณทางไฟฟ้า จากเพียโซอิเล็กทริกที่วางจรวดควบคุมบปรอง ค) สัญญาณทางไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริก ที่แตกหรือชำรุด [7] 16
2.21	ขั้นตอนการวัดค่าการเคลื่อนที่ของไมโครแอกชูเอเตอร์บนเครื่องทดสอบแบบเคลื่อนที่ [9].....18
2.22	ขั้นตอนการทดสอบคุณลักษณะของ ไมโครแอกชูเอเตอร์ [9]..... 19
2.23	การวัดค่าการถ่ายโอนคุณลักษณะระหว่างสัญญาณควบคุมไมโครแอกชูเอเตอร์ เทียบกับตำแหน่งของหัวอ่าน [10].....20
2.24	ขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ด้วยเครื่อง ePZT Gen 3.....21
2.25	ผลการทดสอบระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆไปยัง ไมโครแอกชูเอเตอร์ ด้วยเครื่อง ePZT Gen 3.....21
2.26	การพล็อตของการเคลื่อนที่ วัดตำแหน่งของหัวอ่าน โดยใช้เลเซอร์ ของหัวอ่านแบบลิซซาลูส เทียบกับการป้อนแรงดันไฟฟ้าความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ให้กับเพียโซอิเล็กทริก[10].....22
2.27	วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก [14].....23
2.28	วงจรไฟฟ้าเสมือนคู่ขนานของตัวเก็บประจุ 10 หัว โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดๆละ 5 หัว เนื่องจาก C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 และ $C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}$ มีค่าโดยประมาณเท่ากับ $2C_0$ ดังนั้น เป็นไปตามสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.5)..... 24
2.29	วงจรมูลทางไฟฟ้าของหัวอ่านขนาด 10หัวที่มีความบกพร่องในขบวนการประกอบ25
3.1	การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก หรือ ค่าความยินยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของ วัสดุเพียโซอิเล็กทริกต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิ ในช่วง 40 – 200 °C.....28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.1 เปรียบเทียบความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เลเซอร์ 1 วัตต์ และ 5 วัตต์ในช่วงเวลา 3 วินาทีแรก ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส.....	32
4.2 อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยแสงเลเซอร์พร้อมชุดขับเคลื่อนในแนวตั้ง.....	33
4.3 การทดสอบอุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดเปรียบเทียบกับการวัดค่าความร้อนด้วย เทอร์โมคัปเปิลร่วมกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (FLUKE DMM Model 289).....	34
4.4 ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดความร้อนรังสีอินฟราเรด และ เทอร์โมคัปเปิล.....	34
4.5 เครื่องวัดทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวอ่าน (eCT: Electrical Continuity Tester).....	35
4.6 ไดอะแกรมแสดงชุดทดสอบหัวอ่าน/หัวเขียน เพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน พร้อมกับการให้ความร้อนแก่วัดเพื่อใช้อิเล็กทรอนิกส์.....	38
4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไมโครแอสเซมบลีเมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง.....	38
4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไมโครแอสเซมบลีและค่าความจุไฟฟ้าเมื่อให้ความร้อน อย่างต่อเนื่อง.....	38
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าวัดได้กับอุณหภูมิที่วัดได้บนไมโครแอสเซมบลี.....	39
4.10 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	39
4.11 วงจรควบคุมอุปกรณ์เลเซอร์ให้ความร้อนพร้อมระบบป้องกันการให้ความร้อนเกินของ เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	40
4.12 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	41
4.13 การแสดงผลการทดสอบ ก) หัวอ่านที่ผ่านการทดสอบ ข) หัวอ่านที่ไม่ผ่านการทดสอบ โดยระบุตำแหน่งหัวอ่านที่เสียหาย.....	42
4.14 ขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านก่อนและหลังการทดสอบด้วยค่าความจุไฟฟ้า พร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	43
4.15 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านแสดงความสัมพันธ์ ก่อนและหลัง การวัดค่า ความจุไฟฟ้าพร้อมให้พลังงานความร้อนจากเลเซอร์.....	43
4.16 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์.....	44
4.17 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยค่าเฉลี่ยของหัวอ่านที่ดีและเสีย.....	48
4.18 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหัวอ่านที่ดีและเสีย.....	48
4.19 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยค่าพิสัยของหัวอ่านที่ดีและเสีย.....	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.20 การกระจายของค่าเฉลี่ยความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน/หัวเขียนเปรียบเทียบกับ กับค่ากำหนดขีดเริ่ม.....	51
4.21 การกระจายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุไฟฟ้าเมื่อให้ความร้อนจากเลเซอร์ เปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม.....	51
4.22 การกระจายของค่าพิสัยของค่าความจุไฟฟ้าเมื่อให้ความร้อนจากเลเซอร์เปรียบเทียบกับ ค่ากำหนดขีดเริ่ม.....	52
5.1 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้พลังงานความร้อนจากเลเซอร์ พร้อมทำงานร่วมกับ ระบบการประมวลผลภาพเพื่อลดอันตรายจากแสงเลเซอร์.....	55
5.2 วัสดุเพียโซอิเล็กทริกแตกหัก.....	55



บทที่ 1

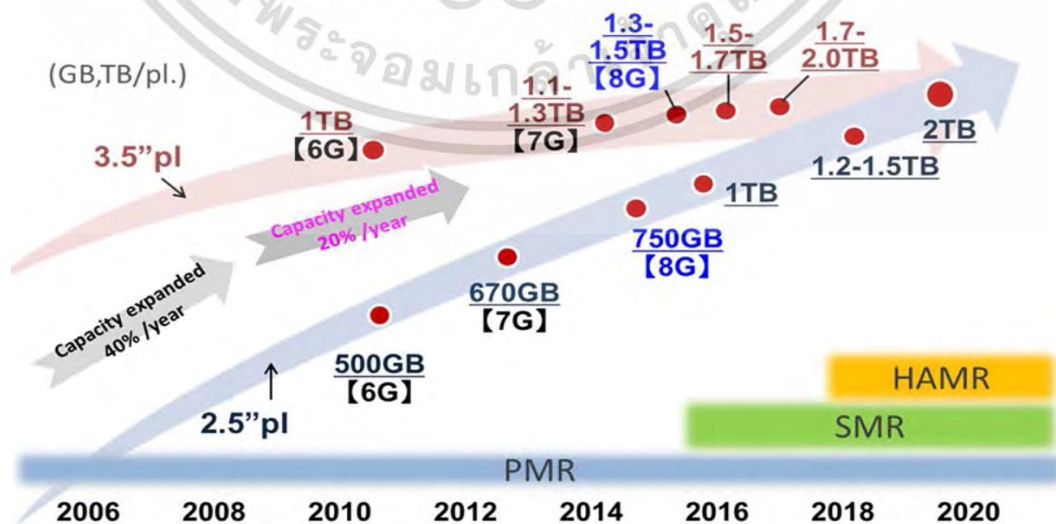
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าและพัฒนาขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้ความต้องการเก็บข้อมูลด้วยระบบดิจิทัลด้วยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (hard disk drive) เพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น ระบบอินเทอร์เน็ตได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเช่นกัน ทำให้ความต้องการในการใช้พื้นที่เพื่อจัดเก็บข้อมูลต่างๆเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น การเพิ่มขนาดความหนาแน่นของข้อมูลต่อพื้นที่ (areal density) บนแผ่นแม่เหล็ก การเพิ่มจำนวนจานแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าแผ่นดิสก์ในแต่ละฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นต้น จำนวนจานแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องมีการประกอบหัวอ่านเข้าด้วยกันหลายๆหัวซึ่งในปัจจุบัน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หนึ่งลูกประกอบด้วยจานแม่เหล็ก 8 จาน และมีจำนวนหัวอ่านที่ประกอบเข้าด้วยกันมากถึง 16 หัว

เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีขนาดความจุข้อมูลมากขึ้น แต่ขนาดยังคงเท่าเดิมทำให้ความหนาแน่นของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหัวอ่านจึงจำเป็นต้องมีความแม่นยำในการหาตำแหน่งข้อมูลที่ละเอียดในระดับไมโครเมตร (um) ซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้นทำให้หัวอ่านต้องทำงานอย่างละเอียดมากขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาการเคลื่อนที่ของหัวอ่านให้ดียิ่งขึ้น ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาไมโครแอกชูเอเตอร์ (micro-actuator) เพื่อช่วยในการขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียดในระดับไมโครเมตร ใช้ร่วมกับวอยซ์คอยล์ มอเตอร์ (voice coil motor) ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบดั้งเดิม

หากพิจารณาความหนาแน่นของข้อมูลต่อพื้นที่ในปัจจุบันพบว่ามีความหนาแน่นมากกว่า 1-1.2 เทราไบต์ต่อแผ่นดิสก์แสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แนวโน้มในการเพิ่มปริมาณข้อมูลในแผ่นดิสก์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญาใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำอุปกรณ์ที่เป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ เข้ามาใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นการเพิ่มอุปกรณ์ในหัวอ่านทำให้ต้องมีการประกอบอุปกรณ์ไมโครแอกชูเอเตอร์เพิ่มเติมในขบวนการผลิต การประกอบอุปกรณ์ไมโครแอกชูเอเตอร์เข้ากับวงจรถบคุม มีโอกาสสร้างความเสียหายกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สร้างอุปกรณ์ประเภทนี้ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อต้องการให้ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพิ่มขึ้น จึงต้องประกอบหัวอ่านซ้อนกันหลายๆชั้น เพื่อเพิ่มจำนวนหัวอ่าน และ จำนวนแผ่นดิสก์ ซึ่งมีโอกาส จะเกิดความบกพร่อง และ ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ไมโครแอกชูเอเตอร์มีความสำคัญกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนแบบละเอียด เพื่อให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของข้อมูลได้อย่างถูกต้อง หากเกิดความผิดปกติกับวงจรมิโครแอกชูเอเตอร์จะทำให้หัวอ่านทำงานผิดพลาด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้น การออกแบบแนวคิด ทดสอบแนวคิด และ สร้างเครื่องต้นแบบ เพื่อใช้ในการตรวจสอบและแยกแยะความผิดปกติของการประกอบวงจรมิโครแอกชูเอเตอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก (PZT) กับวงจรถบคุม และสามารถนำไปใช้งานจริงในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิควิธีการและระบบที่สามารถใช้ในการตรวจจับความบกพร่องของวงจรถบคุม การทำงานของไมโครแอกชูเอเตอร์ เมื่อวงจรถบคุมได้รับความเสียหายหรือบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการผลิต

เพื่อสร้างเครื่องทดสอบต้นแบบที่จะนำมาใช้ในสายการผลิต สำหรับทดสอบความสมบูรณ์ของวงจรถบคุมไมโครแอกชูเอเตอร์ที่ใช้ในหัวอ่านที่มีต้นทุนต่ำ, ใช้งานง่าย, สามารถทดสอบไมโครแอกชูเอเตอร์ และมีประสิทธิภาพเหมือนกับเครื่องทดสอบเชิงพาณิชย์อื่นๆเพื่อลดต้นทุนการผลิตในทางอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

พัฒนาและทดสอบเครื่องต้นแบบให้สามารถใช้ได้จริงในสายงานการผลิต

ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

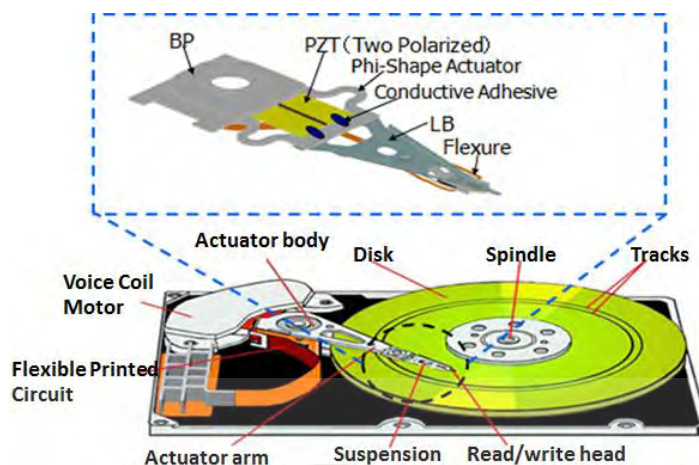
บทนำ

จากคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในเชิงกลที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เมื่อได้รับสนามไฟฟ้าจากภายนอก ด้วยคุณสมบัตินี้จึงได้มีการนำเอาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาใช้งานเป็นไมโครแอกชูเอเตอร์กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะการใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียดหรือไมโครแอกชูเอเตอร์เพื่อให้หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่แบบละเอียดในระดับไมโครเมตร ในการใช้งานจริงจะติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไว้ในตำแหน่งใกล้กับหัวอ่าน/หัวเขียนเพื่อทำงานเป็นระบบขับเคลื่อนในระดับที่สอง โดยทำงานร่วมกับวอยซ์คอยล์ มอเตอร์ ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านให้เคลื่อนที่ในตอนเริ่มต้น จากนั้นไมโครแอกชูเอเตอร์จะเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านในระดับละเอียดเพื่อทำการปรับตำแหน่งหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการในการอ่าน/เขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ใช้ในงานในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดใหญ่เช่น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับเซิร์ฟเวอร์และระบบฐานข้อมูลต่างๆ

ในบทนี้จะนำเสนอรายละเอียดเป็นขั้นตอนดังนี้ ในช่วงแรกจะนำเสนอเกี่ยวกับหลักการการทำงานของ คูอัลสเตท ไมโครแอกชูเอเตอร์ (Dual State Microactuator, DSA) ส่วนที่สองจะอธิบายเกี่ยวกับคุณลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก สุดท้ายจะเป็นการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการทดสอบเพียโซอิเล็กทริกที่มีในปัจจุบัน

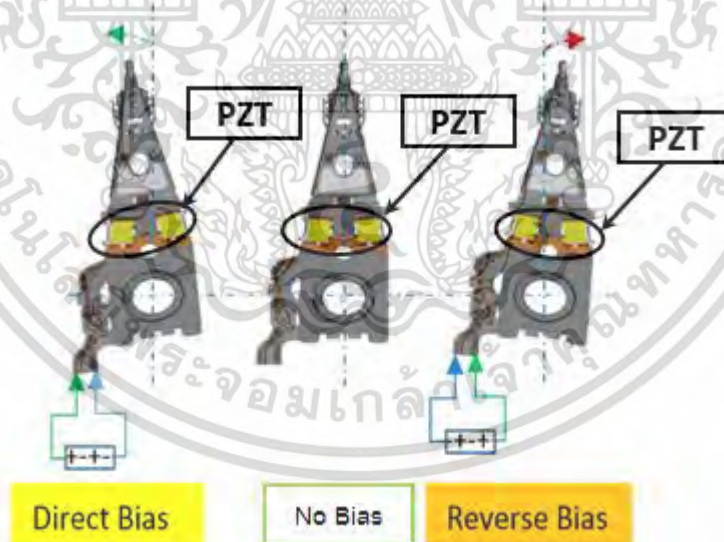
2.1 หลักการทำงานของ คูอัลสเตท ไมโครแอกชูเอเตอร์ [2]

วิธีการเพิ่มความหนาแน่นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มี 2 แนวทางคือ การเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลที่บันทึกบนแผ่นดิสก์ซึ่งจะทำให้ขนาดสัญญาณที่อ่านจากแผ่นดิสก์มีขนาดเล็กและมีการรบกวนกันมากขึ้น ดังนั้นในการเขียนและอ่านข้อมูลจะมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยที่ตำแหน่งในการอ่านข้อมูลจะต้องแม่นยำมากขึ้น การใช้วอยซ์คอยล์มอเตอร์ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนแบบขั้นตอนเดียวจึงไม่เพียงพอกับปริมาณข้อมูลที่มีความหนาแน่นมากขึ้น การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของข้อมูลด้วยแบบเดิมจึงไม่สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาและนำเอาการขับเคลื่อนระดับที่สองมาใช้งานเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการเข้าถึงตำแหน่งของข้อมูลเพื่อเขียนและอ่านสัญญาณในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยได้เพิ่มอุปกรณ์ที่เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านระดับที่สอง หรือไมโครแอกชูเอเตอร์ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเพียโซอิเล็กทริกเพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียด เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของข้อมูลสำหรับหัวอ่านดังแสดงในรูปที่ 2.1



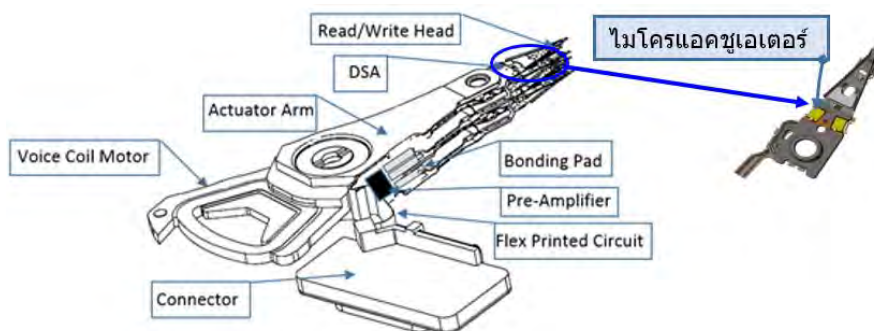
รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบด้วยการขับเคลื่อนแบบคู่ (dual stage actuator) โดยใช้แกนคอยล์มอเตอร์ ร่วมกับไมโครแอกชูเอเตอร์ (แสดง ในภาพขยาย) [3]

หลักการทำงานของเพียโซอิเล็กทริกจะมีการบิดตัวเพื่อยึดตัวเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าแบบตรง (direct bias) อย่างเหมาะสมและจะบิดตัวในทางตรงข้ามเพื่อหดตัวเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าในทางกลับ (reverse bias) ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในระดับไมโครเมตรดังแสดงในรูปที่ 2.2 เทคนิคการเคลื่อนที่นี้ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมเคลื่อนที่ของหัวอ่านแบบละเอียดในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 2.2 การทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าแบบตรงขั้ว,ไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้าและได้รับแรงดันไฟฟ้าแบบกลับขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

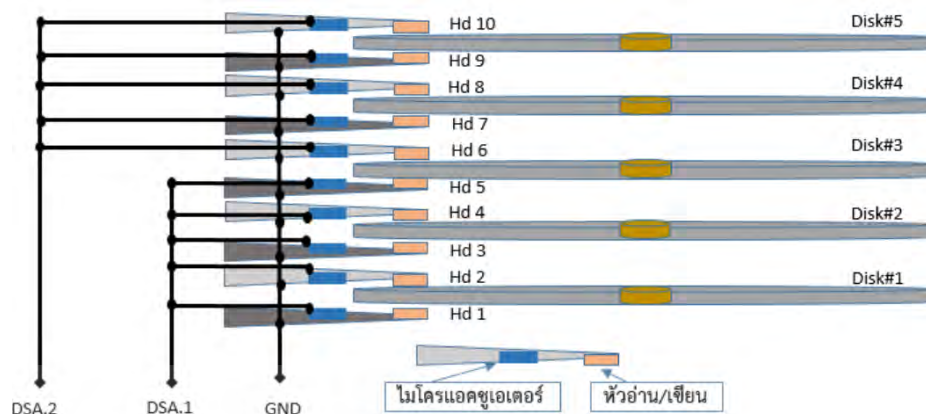


รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของ หัวอ่าน (Head Stack Assembly, HSA) [3]

องค์ประกอบต่างๆของหัวอ่าน (Head Stack Assembly, HSA) มีองค์ประกอบต่างๆได้แก่ หัวอ่าน/หัวเขียน(read/write head) เป็นตัวทำหน้าที่อ่าน/เขียนข้อมูลจากแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, ไมโครแอกชูเอเตอร์ จะเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียดที่ติดอยู่บนชัสเพนชั่น (suspension), แอกชูเอเตอร์อาร์ม (actuator arm) ซึ่งเป็นเหมือนแขนที่พาหัวอ่านเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆบนแผ่นดิสก์โดยมีหัวอ่าน/หัวเขียนอยู่ตรงปลายและไมโครแอกชูเอเตอร์ถูกติดตั้งในตำแหน่งถัดไป, วอยซ์ คอยล์ มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้หัวอ่านเคลื่อนที่โดยทำงานร่วมกันระหว่างแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้า, พรีแอมป์ (pre-amplifier) เป็นตัวขยายสัญญาณของหัวอ่าน/หัวเขียนและเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อติดต่อกับวงจรไฟฟ้าของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และแผงวงจรไฟฟ้าแบบอ่อนตัว (flex print circuit) เป็นแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่นดังแสดงในรูปที่ 2.3

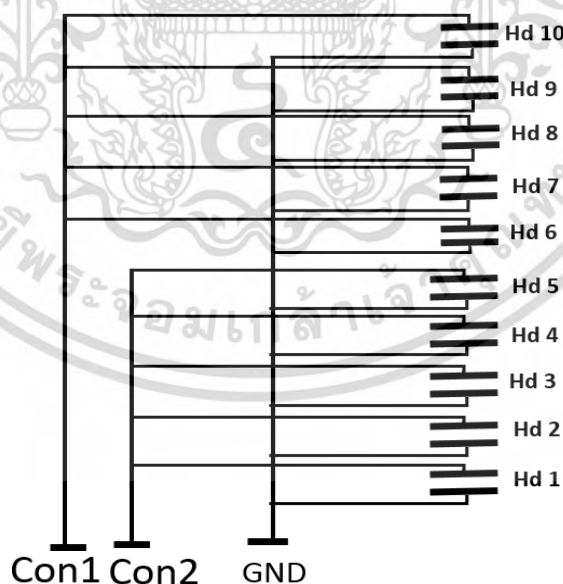
เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เริ่มทำงาน แผงวงจรไฟฟ้าแบบอ่อนตัวจะนำสัญญาณจากวงจรไฟฟ้าของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไปยังวงจรไดรเวอร์ของพรีแอมป์เพื่อทำการเขียนหรืออ่านสัญญาณทางไฟฟ้า หัวอ่านจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งของข้อมูล โดยเคลื่อนที่ด้วยวอยซ์ คอยล์ มอเตอร์ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในขั้นต้นอย่างหยาบและรวดเร็วแต่ยังไม่ถูกต้อง จากนั้นหัวอ่านจะเคลื่อนที่แบบละเอียดเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการด้วยไมโครแอกชูเอเตอร์ เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้วพรีแอมป์จะทำหน้าที่ควบคุมการอ่านหรือเขียนสัญญาณทางไฟฟ้า

การเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะเก็บไว้บนทั้งสองด้านของแผ่นดิสก์ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หัวอ่าน/หัวเขียน 2 หัวต่อแผ่นดิสก์ 1 แผ่น หากใช้แผ่นดิสก์ 5 แผ่นจะต้องใช้หัวอ่าน 10 หัว ซึ่งปัจจุบันโดยทั่วไปจะใช้สัญญาณควบคุมเพียงชุดเดียวซึ่งง่ายต่อการออกแบบและการลงทุน แต่เมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นการใช้สัญญาณควบคุมเพียงชุดเดียวจะมีความยุ่งยากในการซ่อมแซมเนื่องจากมีความซับซ้อน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการออกแบบสัญญาณควบคุมออกเป็น 2 ชุด แต่ละชุดเชื่อมต่อกับไมโครแอกชูเอเตอร์ทั้ง 5 หัวเข้าด้วยกัน เพื่อให้หัวอ่าน/หัวเขียนทั้ง 5 หัวทำงานด้วยสัญญาณควบคุมตัวเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อหัวอ่าน เป็น 2 ชุด ชุดละ 5 หัวอ่าน ชุดที่ 1 (Hd1-Hd5) ควบคุมการทำงานด้วยวงจรไมโครแอกซูเอเตอร์ (DSA1) และชุดที่ 2 (Hd6-Hd10) ควบคุมการทำงานด้วยวงจรไมโครแอกซูเอเตอร์ (DSA2)

รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเสมือนที่แทนไมโครแอกซูเอเตอร์แต่ละตัวด้วยตัวเก็บประจุ ดังนั้นตัวเก็บประจุชุดที่ 1 จะเชื่อมต่อกับ Con1 ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมสำหรับหัวอ่านที่ 1-5 ในขณะที่ตัวเก็บประจุชุดที่ 2 จะเชื่อมต่อกับ Con2 ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมสำหรับหัวอ่านที่ 6-10 เมื่อสัญญาณควบคุมถูกส่งไปที่ Con1 หัวอ่านที่ 1-5 จะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน และหากสัญญาณควบคุมถูกส่งไปที่ Con2 หัวอ่านที่ 6-10 จะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกันเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.5 วงจรแสดงการเชื่อมต่อไมโครแอกซูเอเตอร์ 10 หัวอ่าน/หัวเขียน เมื่อแทนไมโครแอกซูเอเตอร์แต่ละตัวด้วยตัวเก็บประจุ

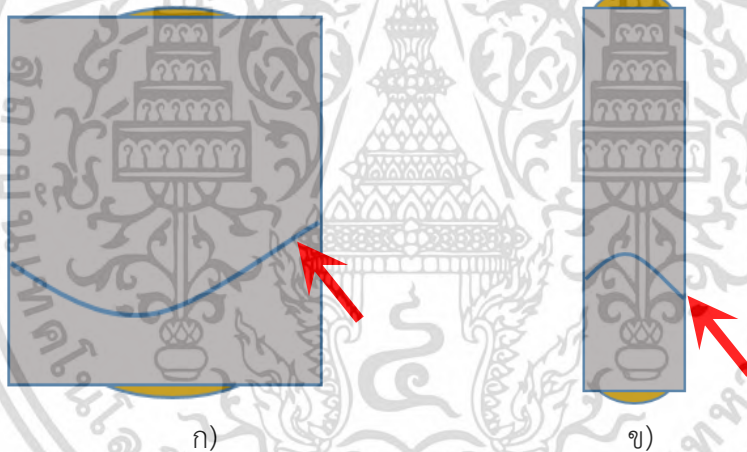
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ปัญหาความไม่สมบูรณ์ของไมโครแอกซูเอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากที่กล่าวมาแล้วไมโครแอกซูเอเตอร์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความถูกต้องในการอ่านและเขียนสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ หากเกิดความไม่สมบูรณ์จะทำให้ประสิทธิภาพของหัวอ่านลดลง และส่งผลให้เกิดความล้มเหลวในการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ความไม่สมบูรณ์ของไมโครแอกซูเอเตอร์อาจเกิดจากความเสียหายของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เช่น การแตกร้าว หรือ การแตกหัก, การลัดวงจรของเพียโซอิเล็กทริกและความไม่สมบูรณ์ของการประกอบเพียโซอิเล็กทริกเข้ากับวงจรถอบคลุมหัวอ่าน ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องตรวจให้พบก่อนจะนำไปประกอบเป็น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รายละเอียดความผิดปกติของ เพียโซอิเล็กทริก มีดังนี้

2.1.1.1 ความผิดปกติบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

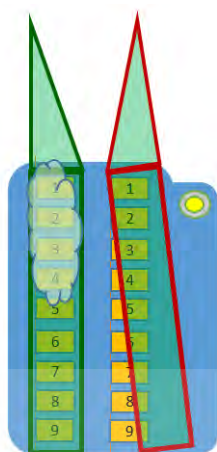
เป็นความบกพร่องที่เกิดในตัววัสดุเองเช่น การแตกของเพียโซอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 แสดงการแตกของตัวเพียโซอิเล็กทริกแบบต่างๆ ก) วัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบดั้งเดิมมีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และ ข) วัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบใหม่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 2.6 วัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีรอยแตกที่เกิดบนวัสดุทั้ง 2 แบบของเพียโซอิเล็กทริก ทั้ง ก) แบบดั้งเดิม และ ข) แบบใหม่

2.1.1.2 ความผิดปกติที่เกิดจากการประกอบไมโครแอกซูเอเตอร์เข้ากับวงจรถอบคลุมหัวอ่าน

ความผิดปกติในการประกอบไมโครแอกซูเอเตอร์ทำให้วงจรไฟฟ้าไม่สมบูรณ์และเกิดความผิดพลาดในการทำงาน เช่น การเชื่อมต่อวงจรควบคุมไม่สมบูรณ์ หรือไม่ได้เชื่อมต่อวงจรควบคุมเข้ากับหัวอ่าน ทำให้วงจรไมโครแอกซูเอเตอร์สำหรับหัวอ่านนั้นไม่สามารถทำงานได้ รูปที่ 2.7 แสดงการประกอบหัวอ่านเข้ากับวงจรถอบคลุมที่ดีและการประกอบหัวอ่านแบบผิดปกติ ซึ่งสายสัญญาณของหัวอ่านมีการบิดตัวและไม่สามารถเชื่อมต่อกับวงจรถอบคลุม



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเชื่อมต่อวงจรเพียโซอิเล็กทริกแบบสมบูรณ์และแบบมีข้อบกพร่อง ด้านซ้าย แสดงวงจรประกอบที่สมบูรณ์ ด้านขวาแสดงวงจรประกอบที่สายสัญญาณบิดตัว และเลื่อนตำแหน่ง ทำให้ไม่สามารถเชื่อมวงจรหัวอ่านเข้ากับวงจรควบคุมได้

ปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในขบวนการผลิตคือความบกพร่องของการประกอบวงจรควบคุมเข้ากับหัวอ่าน/หัวเขียนที่มีจำนวนหลายๆหัวเข้าด้วยกันซึ่งความผิดพลาดส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะเกิดกับบางหัวอ่าน/หัวเขียน ทำให้เกิดความยุ่งยากและความซับซ้อนในการระบุตำแหน่งของหัวอ่าน/หัวเขียนที่เสียหายเพื่อแก้ไขหรือซ่อมแซมปัญหาที่เกิดขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาและสร้างเครื่องทดสอบต้นแบบที่สามารถตรวจสอบความบกพร่องจากการประกอบวงจรควบคุมเข้ากับหัวอ่าน/หัวเขียนที่มีจำนวนหลายหัว และระบุตำแหน่งความเสียหายของหัวอ่าน/หัวเขียนแต่ละหัว เพื่อลดขั้นตอนการทำงานและค่าใช้จ่ายในสายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

2.2 คุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก [4]

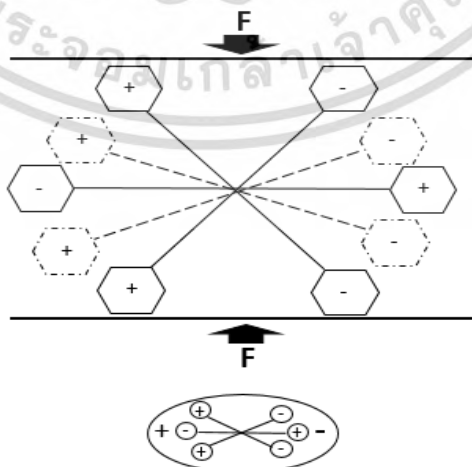
วัสดุประเภทเพียโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุประเภทเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีโครงสร้างแบบเฉพาะตัวซึ่งวัสดุนี้จะแสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกก็ต่อเมื่อได้รับการสร้างขั้วทางไฟฟ้า โดยเริ่มต้นวัสดุเซรามิกประเภทนี้จะไม่แสดงสภาพขั้วประจุไฟฟ้าเนื่องจากประจุไฟฟ้าวางตัวกระจัดกระจายแบบสุ่มดังรูป ก) จากนั้นทำการสร้างขั้วไฟฟ้าให้กับวัสดุประเภทเพียโซอิเล็กทริกด้วยการให้สนามไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อให้เกิดการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าดังรูป ข) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสร้างขั้วไฟฟ้าจะหยุดให้สนามไฟฟ้าภายนอกแต่วัสดุเซรามิกยังคงรักษาสภาพขั้วไฟฟ้าดังรูป ค) ในรูปที่ 2.8

2.2.1 ปรากฏการณ์ตรง (Direct Effect) [2]

ปรากฏการณ์ตรงเป็นการเปลี่ยนแปลงจาก พลังงานกล เป็น พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ในสภาวะปกติโมเลกุลปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ไม่มีแรงใดๆจากภายนอกมากระทำ การกระจายตัวของประจุไฟฟ้าในแต่ละโมเลกุลจะเป็นไปอย่างอย่างสมดุล ตามรูปแบบการสักร่างไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.10 ต่อมาเมื่อให้แรงเชิงกลจากภายนอกกระทำต่อวัสดุ ทำให้โครงสร้างโมเลกุลมีการเปลี่ยนรูป ส่งผลให้การกระจายของประจุไฟฟ้าของแต่ละโมเลกุลเปลี่ยนเป็นลักษณะของไดโพล ดังรูปที่ 2.11 โมเลกุลที่เป็นไดโพลที่อยู่ภายในจะเกิดการหักล้างกันของประจุไฟฟ้าที่ต่างขั้วกัน จึงแสดงคุณสมบัติของประจุที่เหลือบริเวณพื้นผิวของวัสดุในแต่ละด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

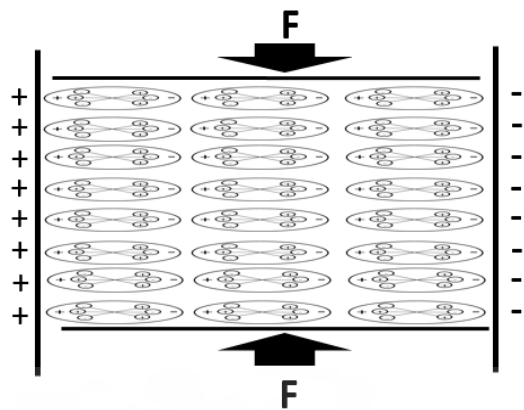


รูปที่ 2.10 โมเลกุลปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ไม่มีแรงใดๆจากภายนอกมากระทำ[2]



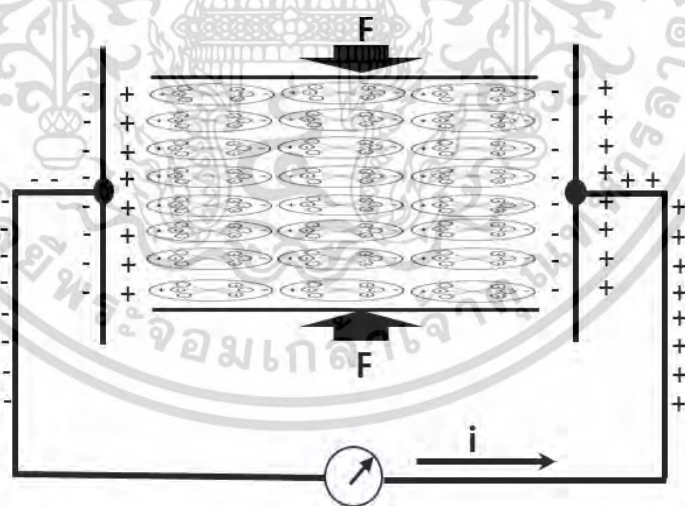
รูปที่ 2.11 โครงสร้างประจุไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



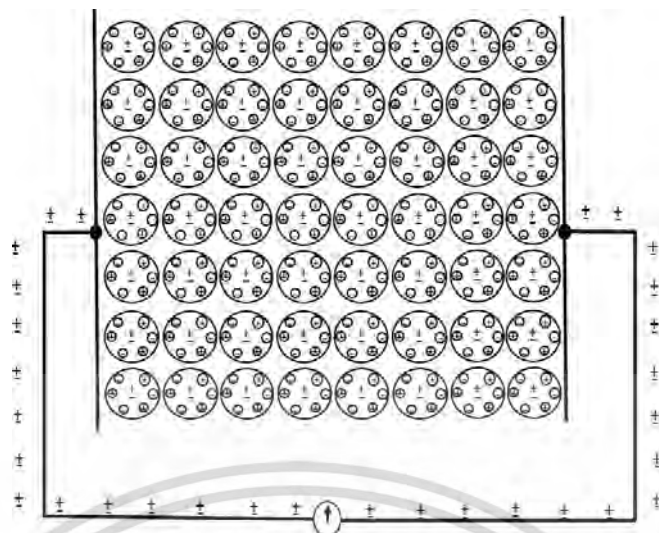
รูปที่ 2.12 การเกิดความหนาแน่นประจุเชิงผิวของเพียโซอิเล็กทริกเมื่อให้แรงกระทำจากภายนอก

ความหนาแน่นประจุเชิงผิวที่เกิดขึ้น ทำให้มีลักษณะเป็นขั้วไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่มีความต่างศักย์ รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า โดยสมมุติว่ามีการเชื่อมวงจรจากภายนอกผ่านสายไฟที่มีการเชื่อมต่อกับกัลวานอ์มิเตอร์ (Galvanometer) เมื่อมีแรงกดบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกความหนาแน่นของประจุจะปรากฏบนพื้นผิวของผลึกที่ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและเกิดการเคลื่อนที่ของประจุที่มีอยู่ในตัวนำจนกว่าจะเกิดความสมดุลทางไฟฟ้า เมื่อหยุดให้แรงกดบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าอิสระจะกลับสู่สภาพการหยุดนิ่งครั้งแรก ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 การไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อมีแรงกระทำจากภายนอกของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

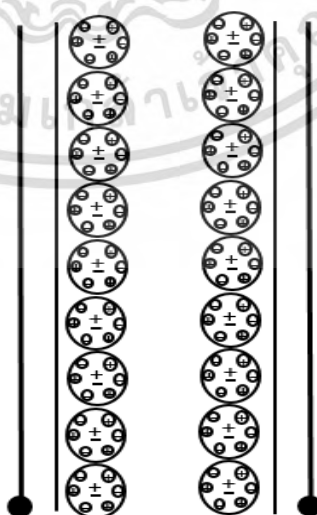
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรในสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำจากภายนอกบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

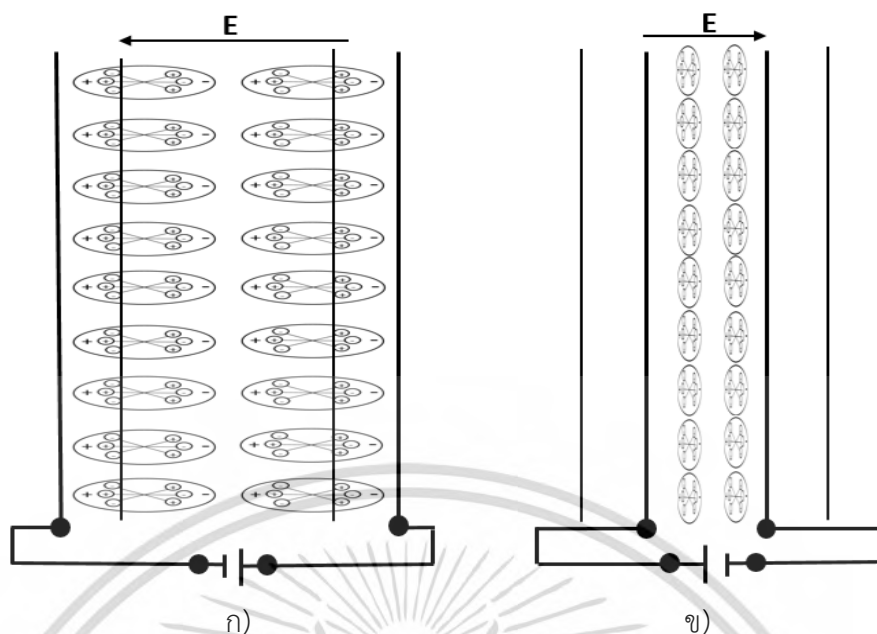
2.2.2 ปรากฏการณ์ ย้อนกลับ (Reverse Effect) [2]

ปรากฏการณ์นี้เป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เป็นพลังงานกล โดยเมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงดันไฟฟ้าจะเกิดสนามไฟฟ้าภายในวัสดุ ทำให้เกิดการยืดหดตามคุณสมบัติเชิงกลซึ่งอธิบายได้ดังนี้ วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ทำขึ้นแล้วในขณะที่ยังไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกจะมีรูปร่างปกติดังรูปที่ 2.15 เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าตรงขั้วจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแบบตรงขั้วซึ่งทำให้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเกิดการบิดตัวทำให้วัสดุยืดตัวออกดังรูป ก) แต่เมื่อให้แรงดันไฟฟ้ากลับขั้วจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไปในทางตรงข้ามและทำให้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเกิดการบิดตัวไปในทางตรงข้าม ซึ่งทำให้วัสดุมีสภาพเหมือนหดตัว ดังรูป ข) ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ขณะยังไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ก) เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าตรงขั้วทำให้ วัสดุยืดตัวออกไป
ข) วัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงดันไฟฟ้ากลับขั้วทำให้วัสดุเกิดการหดตัว

ลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้งานในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์มี 4 แบบ ดังนี้
 แบบที่ 1 แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสชั้นใหญ่ชั้นเดียว เรียกว่า แบบไฟร์ (Phi Type) เป็นแบบดั้งเดิม
 ปัจจุบันเลิกใช้ไปแล้ว
 แบบที่ 2 แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสชั้นเล็กลงโดยใช้งาน 2 ชั้น เรียกว่า แบบ ที (T-Type) ซึ่งมีใช้ใน
 ปัจจุบันอย่างกว้างขวางแต่ในอนาคตจะค่อยๆ ลดลงไป
 แบบที่ 3 แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเล็กและใช้งาน 2 ชั้น แบบไมโครแอกชูเอเตอร์ ติดตั้ง
 ที่ตำแหน่งโหนดบีม เริ่มนำเข้ามาใช้และคาดว่าจะใช้งานอย่างแพร่หลายในอนาคต
 แบบที่ 4 คล้ายแบบที่ 3 แต่มีขนาดเล็กกว่าและ ติดตั้งที่ตำแหน่งใกล้หัวอ่าน/หัวเขียน เป็น
 แบบที่จะนำมาใช้ในอนาคต เพื่อให้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านได้ละเอียดขึ้น

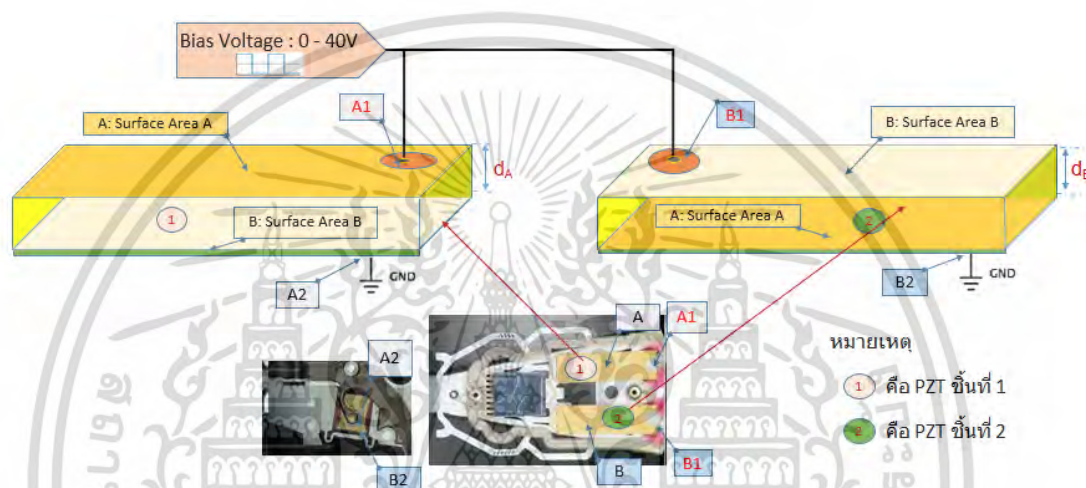
การทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์เป็นการทำงานแบบย้อนกลับ โดย
 วงจรควบคุมจะให้แรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ส่งผล
 ให้เกิดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านแบบละเอียด ไปยังตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการ

ปัจจุบัน ในขบวนการประกอบหัวอ่าน จะต้องเชื่อมต่่วงจรควบคุมเข้ากับวงจรไมโครแอกชู
 เอเตอร์ ที่อยู่บนหัวอ่าน หลังจากนั้นจะมีขบวนการทดสอบความสมบูรณ์ของการเชื่อมต่่วงจรในแต่
 ละหัวอ่าน/หัวเขียน ก่อนนำไปผลิตฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แบบจำลองทางไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก [5]

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้งานจริงในหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีลักษณะและส่วนประกอบสำคัญต่างๆได้แก่ พื้นที่หน้าตัดที่รับสนามไฟฟ้า (A) และ (B), ความหนา (d_A) และ (d_B) และจุดเชื่อมต่อเพื่อป้องกันสัญญาณควมคุม (A1) และ (B1) แต่ละหัวอ่านจะมีวัสดุเพียโซอิเล็กทริก 2 ชั้นเชื่อมต่อแบบกลับขั้วกันในตำแหน่ง A1 และ B1 บนพื้นที่หน้าตัด (A) ของเพียโซอิเล็กทริกชั้นที่ 1 และพื้นที่หน้าตัด (B) ของเพียโซอิเล็กทริกชั้นที่ 2 อีกด้านเชื่อมต่อลงกราวด์ในตำแหน่ง A2 และ B2 ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของต่างๆของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้งานจริงในหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เนื่องจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกนำมาทำงานร่วมกับวงจรทางไฟฟ้าจึงแทนด้วยแบบจำลองทางไฟฟ้าที่เสนอโดย แวน ไดค์ (Van Dyke) [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดย L_m , R_m , C_m เป็นส่วนแสดงพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุ ส่วน C_0 แสดงคุณสมบัติความจุไฟฟ้าของวัสดุโดยที่ ค่า C_0 เป็นไปตามสมการที่ 2.1

$$C_0 = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

เมื่อ ε คือ ค่าความยอมยอมทางไฟฟ้า (electric permittivity)

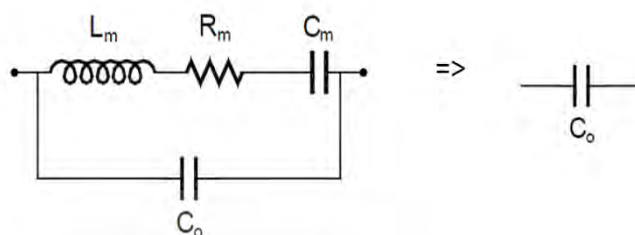
A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่รับสนามไฟฟ้า

d คือ ความหนาของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

พบว่า ค่า C_0 จะเป็นค่าหลักที่ได้จากการวัดค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ดังนั้นแบบจำลองอย่างง่ายจึงสามารถแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้าเพียงตัวเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองอย่างง่ายนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบความสมบูรณ์ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกด้วยการใช้วิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้าซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในภายหลัง



รูปที่ 2.18 แบบจำลองทางไฟฟ้า วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ของ แวน ไดค์ (Van Dyke)

หัวข้อต่อไปจะเป็นการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ที่มีความเกี่ยวข้องกับการทดสอบความสมบูรณ์ของการเชื่อมต่อวงจรไมโครแอกชูเอเตอร์เพียโซอิเล็กทริกกับวงจรควบคุมในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อไม่ให้เกิดความล่าช้าหรือข้อผิดพลาดในการวิจัยและพัฒนาเทคนิควิธีการสำหรับตรวจสอบความสมบูรณ์ของไมโครแอกชูเอเตอร์เพียโซอิเล็กทริกและวงจรควบคุม

2.3 การทบทวนงานวิจัยด้านการทดสอบความผิดปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปัจจุบัน

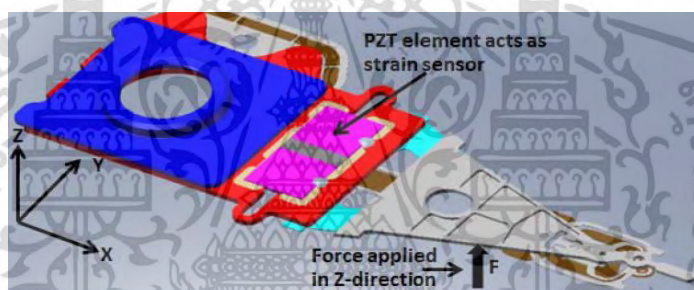
ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำเป็นต้องทดสอบส่วนประกอบต่างๆของหัวอ่านเช่นแผ่นดิสก์ หัวอ่านและแผงวงจรควบคุมหัวอ่านก่อนจะนำมาประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยหัวอ่านเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติ และความสมบูรณ์ของหัวอ่านทุกครั้งก่อนนำมาใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในขบวนการผลิต

องค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของหัวอ่านคือ ไมโครแอกชูเอเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกที่ถูกใช้งานเพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียด ปัจจุบันการทดสอบคุณภาพการเชื่อมต่อวงจรควบคุมกับวงจรไมโครแอกชูเอเตอร์และการทดสอบความสมบูรณ์ของเพียโซอิเล็กทริกมีหลายวิธี ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ต่างๆของเพียโซอิเล็กทริก ได้แก่ การวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าพร้อมด้วยการกระตุ้นเชิงกล (Electrical Response of PZT, ePZT), การวัดการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน (Dynamic Electrical Tester, DET) และ การวัดค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน (Quasi Static Tester, QST) ตามลำดับ

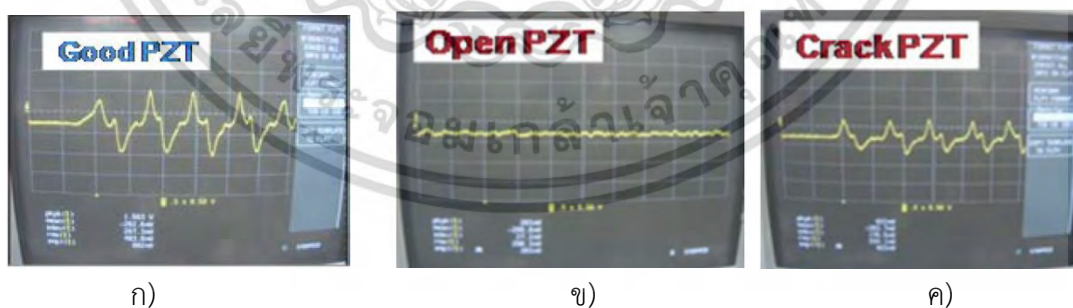
2.3.1 การวัดสัญญาณไฟฟ้าด้วยการกระตุ้นทางกล (ePZT) [6]

เทคนิคการทดสอบนี้เป็นการใช้คุณสมบัติของผลทางตรง (direct effect) โดยการให้แรงทางกลเข้าไปที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกทำให้เกิดสัญญาณทางไฟฟ้า โดยแรงทางกลจะถูกป้อนเข้าไปที่ด้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายของหัวอ่าน ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนไปยังวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า รูปที่ 2.19 แสดงการให้แรงกระทำด้านปลายของหัวอ่าน เมื่อแรงกระทำกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเพียโซอิเล็กทริก สัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ สามารถวัดสัญญาณได้ที่จุดเชื่อมต่อระหว่างวงจรมโครแอกชูเอเตอร์กับวงจรถบคุม ซึ่งเมื่อสัญญาณไฟฟ้าผ่านการประมวลผลจะแสดงดังรูปที่ 2.20 รูป ก) สัญญาณทางไฟฟ้าของเพียโซอิเล็กทริกที่ปกติ รูป ข) สัญญาณทางไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริก ที่วงจรถบคุมบกพร่องเช่น วงจรเปิด และ รูป ค) สัญญาณทางไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริก ที่แตกหรือชำรุด ซึ่งจะให้ขนาดสัญญาณที่เล็กกว่าปกติ วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถใช้ตรวจสอบความบกพร่องของหัวอ่านแต่ละหัวจากหัวอ่านที่อยู่รวมกันหลายๆหัวได้ และมีความแม่นยำสูง แต่วิธีการทดสอบแบบนี้ยังมีข้อจำกัดในการทดสอบกับไมโครแอกชูเอเตอร์รุ่นใหม่ ที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีขนาดเล็กและ มีโอกาสที่จะแตกหรือชำรุดเสียหายได้ง่าย เมื่อให้แรงกระทำ จึงทำให้เครื่องทดสอบการวัดสัญญาณไฟฟ้าด้วยการกระตุ้นทางกลสามารถใช้งานได้กับหัวอ่านในบางรุ่นเท่านั้น



รูปที่ 2.19 การให้แรงทางกลเข้าไปที่ปีกที่เป็นเหมือนแขนหัวอ่านซึ่งเป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เพื่อให้เกิดการสั่นและสร้างสัญญาณทางไฟฟ้า [6]



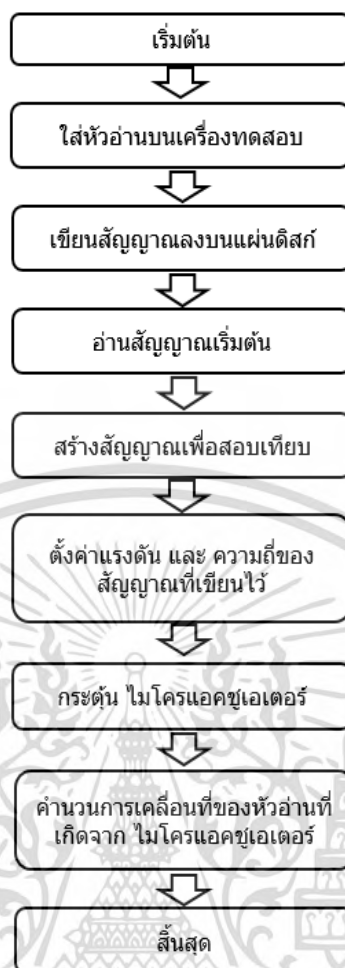
รูปที่ 2.20 สัญญาณทางไฟฟ้าเมื่อการให้แรงทางกลเข้าไปที่ปีกของหัวอ่านซึ่งเป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ก) สัญญาณทางไฟฟ้า จากเพียโซอิเล็กทริกที่ปกติ ข) สัญญาณทางไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริกที่วงจรถบคุมบกพร่อง ค) สัญญาณทางไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริกที่แตกหรือชำรุด [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การวัดการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน (Stroke Test) หรือ การทดสอบทางไฟฟ้าแบบไดนามิกส์ (Dynamic Electrical Test, DET) [7-10]

วิธีการทดสอบนี้เป็นการวัดสัญญาณทางไฟฟ้าของหัวอ่านโดยตรงขณะอ่านข้อมูลจากจานแม่เหล็กหรือแผ่นดิสก์ที่มีการหมุนในลักษณะเดียวกับการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เรียกว่า ระบบการทดสอบแบบการเคลื่อนที่หรือไดนามิกส์ โดยที่หัวอ่าน/หัวเขียนจะถูกรวบรวมเข้ากับแผ่นดิสก์เหมือนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในขณะที่ทำการทดสอบ แผ่นดิสก์จะหมุนด้วยความเร็วสูง(5400รอบต่อนาที) หัวอ่านจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งบนแผ่นดิสก์ที่ต้องการอ่าน/เขียนสัญญาณด้วยวอยซ์คอยล์มอเตอร์และไมโครแอกชูเอเตอร์ จากนั้นหัวอ่าน/เขียนจะเขียนสัญญาณลงบนแผ่นดิสก์ ต่อมาจะทดสอบด้วยการอ่านข้อมูลจากแผ่นดิสก์ในตำแหน่งที่เขียน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความถูกต้องของสัญญาณทางไฟฟ้าที่อ่านได้ เช่น วัดระดับความแรงของสัญญาณ, ความกว้างของสัญญาณแบบต่อเนื่อง, ความแรงของสัญญาณหลังจกมีการเขียนทับ และ อัตราส่วนของขนาดสัญญาณที่ต้องการต่อขนาดของสัญญาณรบกวน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ ค่าเกณฑ์มาตรฐานที่ถูกกำหนดสำหรับการทดสอบ หากวอยซ์คอยล์มอเตอร์ และไมโครแอกชูเอเตอร์ทำงานปกติจะทำให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเดิมที่มีการเขียนและอ่านข้อมูลได้ถูกต้อง วิธีการทดสอบแบบเคลื่อนที่นี้ยังสามารถทำการทดสอบ การตอบสนองการเคลื่อนไหวและการตอบสนองความถี่ของไมโครแอกชูเอเตอร์ได้ในเวลาเดียวกัน

รายละเอียดทางเทคนิคของการทดสอบเป็นดังนี้ เริ่มต้นเครื่องทดสอบแบบไดนามิกส์จะเขียนสัญญาณแบบเส้นคู่ลงไปในแผ่นดิสก์ ซึ่งแต่ละจุดที่อ่านสัญญาณได้ความแรงสูงสุดจะเป็นศูนย์กลางของแทร็ก หลังจากนั้น หัวอ่านจะเคลื่อนที่ไปอ่านสัญญาณบนแผ่นดิสก์ โดยมีวอยซ์คอยล์มอเตอร์และไมโครแอกชูเอเตอร์ เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านไปยังตำแหน่งข้อมูล จากนั้นหัวอ่านจะอ่านสัญญาณพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้กับไมโครแอกชูเอเตอร์ เพื่อให้สัญญาณที่อ่านได้เป็นไปตามข้อกำหนด โดยความถี่นั้นจะเป็นความถี่เฉพาะในการตอบสนองของไมโครแอกชูเอเตอร์ วิธีการนี้สามารถทดสอบซ้ำๆ ได้ที่ความถี่อื่นๆ ด้วยเช่นกัน ขั้นตอนของการทดสอบการเคลื่อนที่ของไมโครแอกชูเอเตอร์ บนเครื่องทดสอบแบบเคลื่อนที่ เป็นไปดังรูปที่ 2.21



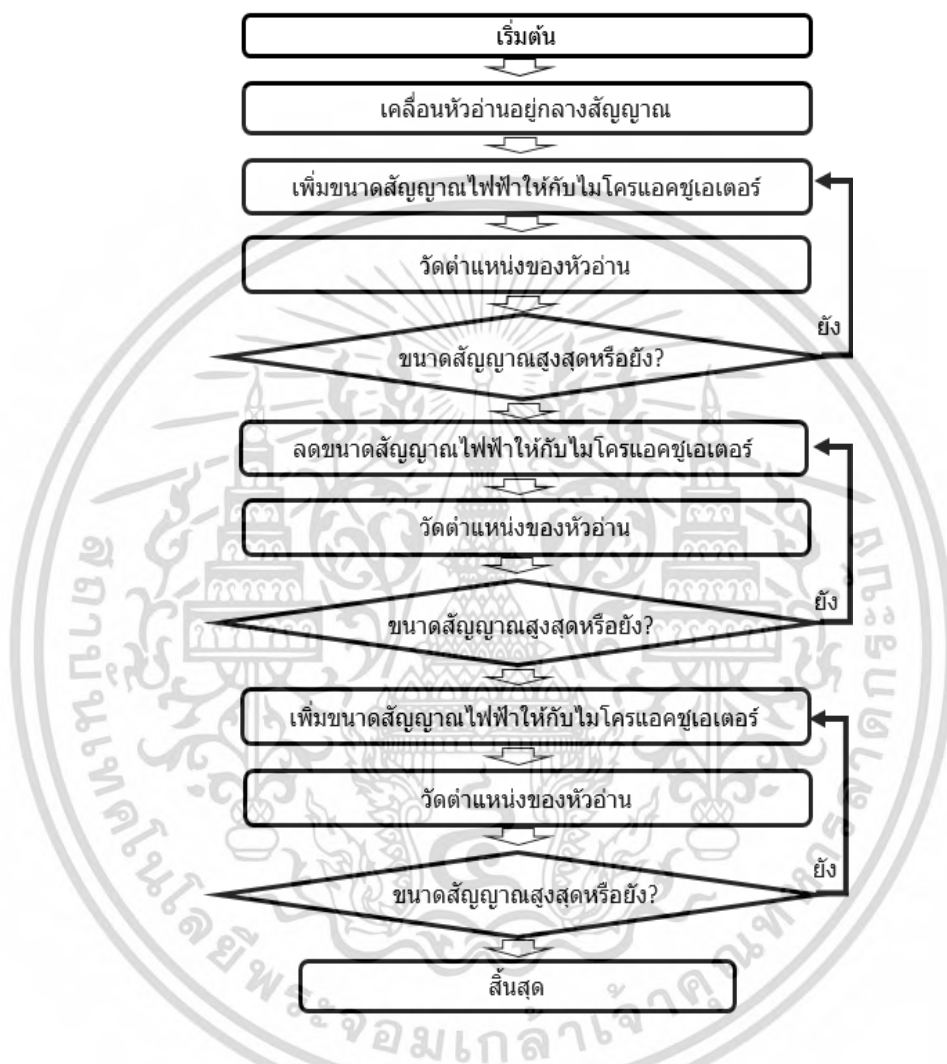
รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการวัดค่าการเคลื่อนที่ของไมโครแอกชูเอเตอร์บนเครื่องทดสอบแบบเคลื่อนที่ [9]

อีกวิธีหนึ่งของการใช้เครื่องทดสอบแบบเคลื่อนที่[8]เพื่อทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของไมโครแอกชูเอเตอร์ ในเทคนิคนี้หัวอ่านจะเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งเหนือข้อมูลบนแผ่นดิสก์โดยอาศัยข้อมูลสัญญาณเซอร์โว (servo's signal) ที่อ่านจากแผ่นดิสก์ โดยเมื่อให้สัญญาณควบคุมไปยังไมโครแอกชูเอเตอร์จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนตำแหน่ง ขณะเดียวกันหัวอ่านก็จะอ่านสัญญาณเซอร์โวจากแผ่นดิสก์ที่แสดงตำแหน่งของหัวอ่าน ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้วัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหัวอ่านกับสัญญาณควบคุมที่ป้อนให้ไมโคร-แอกชูเอเตอร์ จะทำให้สามารถระบุคุณลักษณะของไมโครแอกชูเอเตอร์ได้ โดยแผนภาพขั้นตอนการทดสอบและเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตของกับตำแหน่งของหัวอ่าน แสดงดังรูปที่ 2.22 โดยเริ่มต้นให้สัญญาณควบคุมไมโครแอกชูเอเตอร์ (drive voltage) ที่มีค่าบวกไปยังไมโครแอกชูเอเตอร์ เพิ่มขนาดของสัญญาณและวัดระยะเวลาทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่านไปเรื่อยๆจนกระทั่ง สัญญาณควบคุมมีค่าสูงสุดทางด้านบวก จากนั้นลดขนาดสัญญาณอินพุตลงพร้อมกับการวัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของหัวอ่านไปเรื่อยๆจนขนาดสัญญาณเป็นศูนย์ จากนั้นค่อยๆเพิ่มขนาดด้านลบจนมีค่าด้านลบที่สูงที่สุดพร้อมวัด

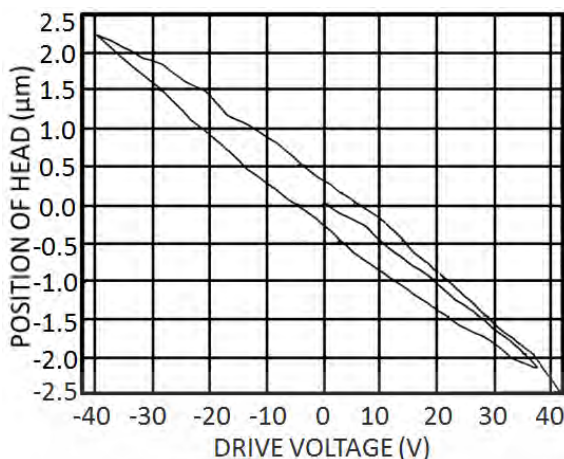
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ทำซ้ำด้วยการลดขนาดสัญญาณทางด้านลบลงพร้อมวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่านตามจุดต่างๆ จนกระทั่งสัญญาณไฟฟ้าสูงสุดทางด้านบวกอีกครั้งจึงครบรอบการทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมกับ ระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ดังแสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการทดสอบคุณลักษณะของ ไมโครแอกชูเอเตอร์ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

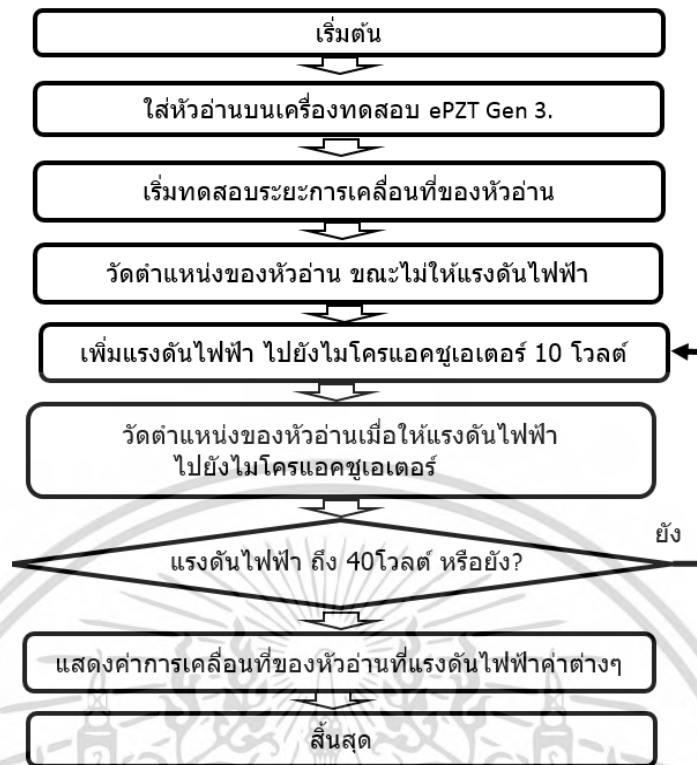


รูปที่ 2.23 การวัดค่าการถ่ายโอนคุณลักษณะระหว่างสัญญาณควบคุมไมโครแอกชูเอเตอร์ เทียบกับ ตำแหน่งของหัวอ่าน [10]

การวัดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านไม่เพียงแต่แสดงคุณสมบัติการเคลื่อนที่เท่านั้น แต่ยังสามารถทดสอบการตอบสนองต่อความถี่ของไมโครแอกชูเอเตอร์ด้วย การทดสอบนี้สามารถใช้กับหัวอ่านหัวเขียนแบบหัวเดียว (Head Gimbal Assembly, HGA) และชุดหัวอ่านที่ประกอบด้วยหัวอ่านหลายๆ หัว อย่างไรก็ตามผลการทดสอบของเทคนิคนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเขียนและการอ่าน สัญญาณจากแผ่นดิสก์ของหัวอ่านและวงจรไฟฟ้า เนื่องจากไม่ได้วัดเฉพาะสมรรถนะของไมโครแอกชูเอเตอร์ จึงเป็นไปได้ว่าหัวอ่านแบบหัวเดียว (HGA) และชุดหัวอ่านที่ประกอบด้วยหัวอ่านหลายๆ หัว (HSA) จะไม่ผ่านการทดสอบการเคลื่อนที่ จากผลของข้อบกพร่องอื่นในกระบวนการเขียนหรือการอ่าน แต่มีข้อบกพร่องจากไมโครแอกชูเอเตอร์ นอกจากนี้ระบบการวัดแบบการเคลื่อนที่มีราคาแพงมากต้องใช้เวลาทดสอบนานและใช้พื้นที่ในการติดตั้งเครื่องทดสอบขนาดใหญ่จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต

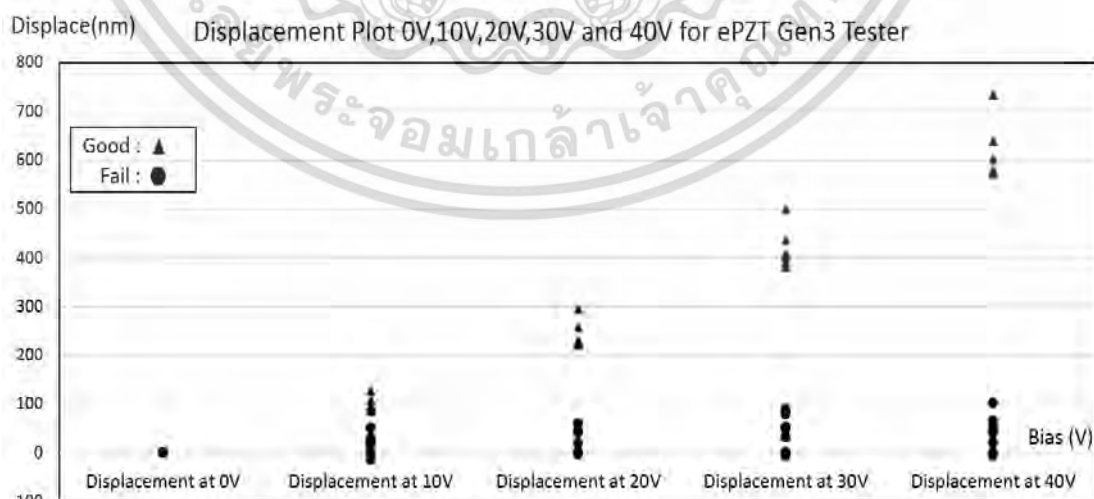
2.3.3 เครื่องทดสอบเคลื่อนที่ของหัวอ่าน (ePZT Gen3)

เครื่อง ePZT Gen3 เป็นเครื่องทดสอบเพื่อวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าไปยังไมโครแอกชูเอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่าน ไมโครแอกชูเอเตอร์ ทำให้หัวอ่านเกิดการเคลื่อนที่ และวัดระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-40 โวลต์ โดยให้เพิ่มแรงดันทีละ 10 โวลต์พร้อมวัดระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน จากนั้นจะเพิ่มแรงดันให้กับหัวอ่านขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 40 โวลต์ ตามกระบวนการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ด้วยเครื่อง ePZT Gen 3

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านด้วยเครื่อง ePZT Gen3 แสดงให้เห็นว่าหากไมโครแอมป์เอเตอร์ที่ประกอบอยู่บนหัวอ่านมีความสมบูรณ์และทำงานได้ถูกต้อง ระยะที่หัวอ่านเคลื่อนที่ (displacement) จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแบบเชิงเส้น ดังเช่นผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 2.25

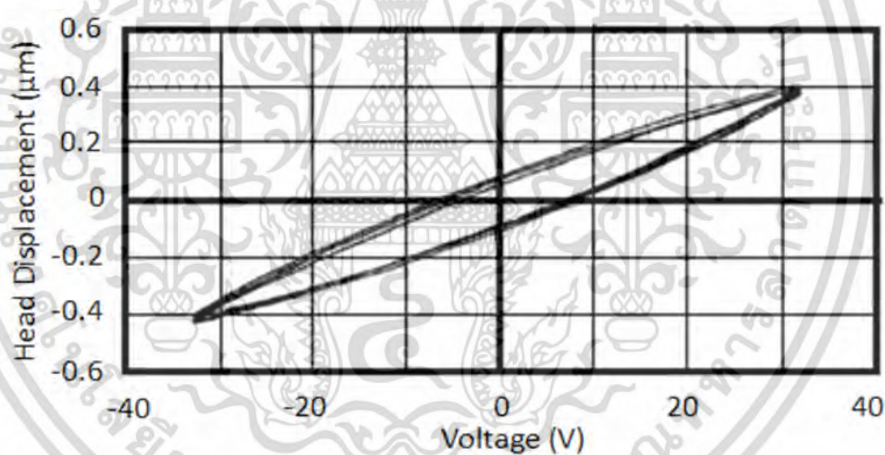


รูปที่ 2.25 ผลการทดสอบระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆไปยังไมโครแอมป์เอเตอร์ ด้วยเครื่อง ePZT Gen 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านโดยใช้ระบบแบบเลเซอร์ (LDV)

ระบบการทดสอบตำแหน่งการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ (Laser Doppler Vibrometer, LDV) ถูกใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการวัดตำแหน่ง การวิเคราะห์ตำแหน่งหัวอ่านและการเคลื่อนที่ เช่นใน [11] ข้อดีประการสำคัญของการใช้ระบบการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งแบบเลเซอร์ คือเป็นการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัวอ่านแบบไม่สัมผัส ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการทำลายวัตถุซึ่งเป็นหัวอ่าน/หัวเขียน ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านจะใช้กับหัวอ่าน/หัวเขียนแบบหัวเดียว โดยจะใช้แรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำในย่านกิโลเฮิรตซ์ (kHz) ป้อนให้กับไมโครแอกชูเอเตอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ พร้อมกับยิงแสงเลเซอร์ไปยังหัวอ่าน แสงเลเซอร์ที่สะท้อนจากผิวของหัวอ่านไปยังตัวรับแสง จะถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนที่และความเร็วในการตอบสนองของไมโครแอกชูเอเตอร์ หากไมโครแอกชูเอเตอร์และวงจรควบคุมทำงานถูกต้อง การเคลื่อนที่ของไมโครแอกชูเอเตอร์จะเป็นไปตามข้อกำหนด เครื่องวัดตำแหน่งหัวอ่านแบบเลเซอร์สามารถวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่านด้วยความแม่นยำสูงในระดับไมโครเมตร ผลการวัดแสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านของ ลิซซาลูส (Lissajous) เทียบกับแรงดันไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การพล็อตของการเคลื่อนที่ วัดตำแหน่งของหัวอ่าน โดยใช้เลเซอร์ ของหัวอ่านแบบ ลิซซาลูส เทียบกับการป้อนแรงดันไฟฟ้าความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ให้กับเพียโซอิเล็กทริก [10]

เทคนิคการทดสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ระบบการวัดแบบเลเซอร์สามารถนำมาใช้สำหรับการทดสอบชุดหัวอ่านที่ประกอบด้วยหัวอ่านหลายๆหัว โดยการสแกนแต่ละหัวที่มีวงจรควบคุมเดียวกัน โดยวัดตำแหน่งหัวอ่านตามลำดับ อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการประกอบหัวอ่าน และทดสอบของหัวอ่านหลายๆหัว การวัดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านดังกล่าวจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆดังนี้

- 1) ระบบการวัดแบบเลเซอร์มีราคาค่อนข้างแพงทำให้ต้นทุนการผลิตสูง
- 2) การทดสอบใช้เวลาอันจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานเนื่องจากต้นทุนในการผลิตสูง
- 3) ระบบการวัดแบบเลเซอร์มีความละเอียดมากทำให้การทำงานซับซ้อนและยุ่งยาก

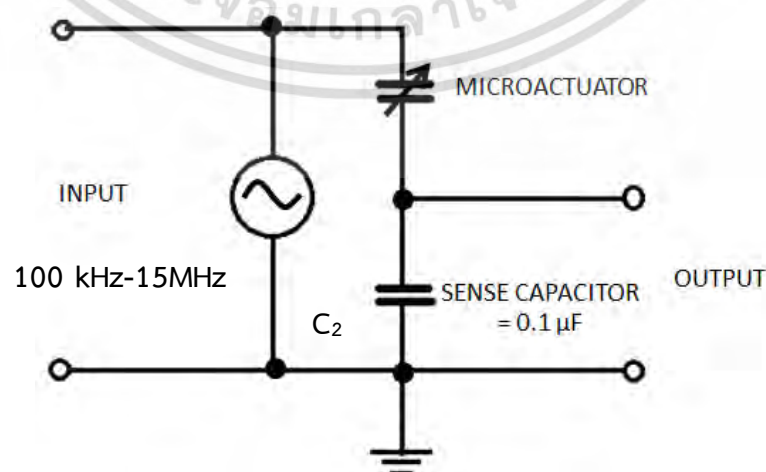
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ระบบการวัดแบบเลเซอร์ต้องการการติดตั้งทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวทำให้วิธีการทดสอบนี้ไม่เป็นที่นิยมที่จะนำมาใช้ในขบวนการผลิต แต่จะนิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในเชิงลึก ในห้องปฏิบัติการ

2.3.5 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Test)

วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกซึ่งทำงานร่วมกับวงจรทางไฟฟ้า[12] เนื่องจากแบบจำลองทางไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า หากมีความเสียหายเกิดขึ้นกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติพบว่าหากมีรอยแตกบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหรือการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าบกพร่องค่าความจุไฟฟ้าจะลดลง ดังนั้นการวัดค่าความจุไฟฟ้าของไมโครแอกชูเอเตอร์ผ่านทางวงจรควบคุมแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความจุไฟฟ้าตามข้อกำหนดจะสามารถตรวจสอบคุณภาพของไมโครแอกชูเอเตอร์ได้ เทคนิคนี้ถูกใช้ในการทดสอบกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดฟิล์มบาง นอกจากนี้การวัดค่าประจุไฟฟ้ายังสามารถบอกความไม่สมบูรณ์ของการเชื่อมต่อของวงจรควบคุม ไมโครแอกชูเอเตอร์ เช่น ลัดวงจร และ เปิดวงจร เป็นต้น

ตัวอย่างของวิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์บนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกโดยไม่สัมผัสกับหัวอ่านสามารถแสดงได้ดังรูป 2.27 จากรูปไมโครแอกชูเอเตอร์ที่จะถูกวัดค่าอิมพีแดนซ์จะถูกต่ออนุกรมเข้ากับตัวเก็บประจุที่ทราบค่า ในที่นี้คือ C_2 ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุแบบโมโนบล็อกขนาด 0.1 ไมโครฟารัด ทนแรงดันไฟฟ้าขนาด 50 โวลต์ และต่ออนุกรมเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ให้ความถี่ตั้งแต่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ – 15 เมกะเฮิร์ตซ์ [13] จากนั้นวัดค่าความถี่การตอบสนองของวงจร ซึ่งจะสามารถใช้ในการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้ วิธีนี้สามารถใช้งานในขบวนการผลิตได้ แต่เนื่องจากเป็นหัวอ่านแบบหลายหัว ค่าที่คำนวณได้จะเป็นการวัดค่าความจุไฟฟ้ารวม จึงมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของหัวอ่านที่เสียหายเพื่อนำไปซ่อมแซมในตำแหน่งที่เสียหายได้



รูปที่ 2.27 วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้า(Capacitance Test)

ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบด้วยแผ่นดิสก์ 5 แผ่นและประกอบด้วยหัวอ่าน 10 หัว ซึ่งจะแบ่งวงจรควบคุมออกเป็น 2 วงจร โดยแต่ละวงจรจะควบคุมหัวอ่าน 5 หัวแต่เนื่องจากหัวอ่านทั้ง 5 หัวเชื่อมต่อแบบขนานกัน ดังนั้นจึงต้องใช้สัญญาณควบคุมร่วมกัน ขณะที่ใช้งานหัวอ่านทั้ง 5 หัวจะเคลื่อนที่ไปมาพร้อมๆกัน แต่พรีแอมป์จะเป็นอุปกรณ์ที่เลือกช่องสัญญาณเพื่ออ่าน/เขียนสัญญาณบนแผ่นดิสก์

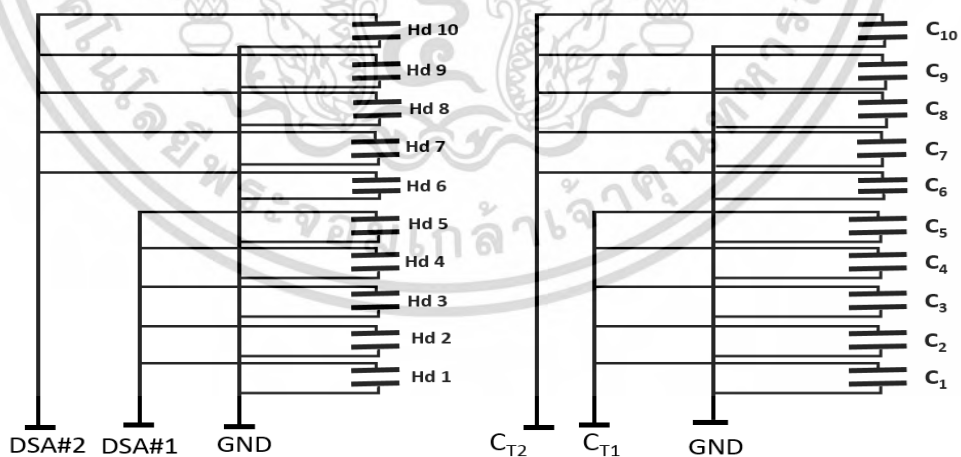
ในแต่ละหัวอ่าน/หัวเขียนจะมีไมโครแอกซูเอเตอร์ซึ่งเป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริก 2 ชั้นต่อขนานกัน ซึ่งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแต่ละชั้นมีค่าความจุไฟฟ้าเฉพาะตัว คือ C_0 ซึ่งเป็น ค่าความจุไฟฟ้าตามแบบจำลองของแวนไดค์ ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้าในแต่ละหัวจะมีค่าโดยประมาณ $2C_0$ เมื่อหัวอ่าน 5 หัวต่อขนานกัน ค่าความจุไฟฟ้าของไมโครแอกซูเอเตอร์ทั้งหมดจะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $10C_0$

ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้าที่วงจรควบคุมชุดที่ 1(DSA1) และวงจรควบคุมชุดที่ 2(DSA2) เห็นจะมีค่าเท่ากับ C_{T1} และ C_{T2} ตามลำดับ หากการประกอบหัวอ่านกับวงจรควบคุมสมบูรณ์ จะได้ค่าความจุไฟฟ้าเป็นไปตาม สมการที่ (2.2) และ สมการที่ (2.3) กล่าวคือ

$$C_{T1} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (2.2)$$

$$C_{T2} = C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10} \quad (2.3)$$

เมื่อ C_i คือ ค่าความจุไฟฟ้าของไมโครแอกซูเอเตอร์หัวที่ i ดังแสดงในรูปที่ 2.28



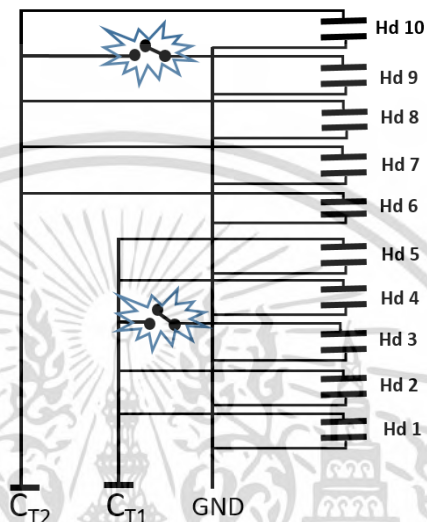
รูปที่ 2.28 วงจรไฟฟ้าเสมือนคู่ขนานของตัวเก็บประจุ 10 หัว โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดๆละ 5 หัว เนื่องจาก C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 และ $C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}$ มีค่าโดยประมาณเท่ากับ $2C_0$ ดังนั้นเป็นไปตามสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.5)

$$C_{T1} = 10C_0 \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{T2} = 10C_0 \quad (2.5)$$

ในกรณีที่เกิดความบกพร่องในขบวนการประกอบเช่น มีหัวอ่านบางตัวประกอบไม่สมบูรณ์ ทำให้วงจรของหัวอ่านนั้นไม่เชื่อมต่อกับวงจรควบคุมซึ่งทำให้ค่าความจุไฟฟ้ารวมลดลง ด้วยเหตุนี้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้ารวมจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ทดสอบความสมบูรณ์ของวงจรมอเตอร์แอคชูเอเตอร์ได้



รูปที่ 2.29 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหัวอ่านขนาด 10 หัวที่มีความบกพร่องในขบวนการประกอบ

จากรูปที่ 2.29 แสดงกรณีที่วงจรควบคุมสำหรับหัวที่ 3 และ 9 ไม่สมบูรณ์ คือเกิดวงจรเปิด ทำให้ความจุไฟฟ้ารวมลดลงเป็นไปตามสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7)

$$C_{T1} = 8C_0 \quad (2.6)$$

$$C_{T2} = 8C_0 \quad (2.7)$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ารวมที่ทดสอบได้กับข้อกำหนดของค่าความจุไฟฟ้ารวมที่ควรจะเป็น (nominal value) คือ $10C_0$ จะพบว่าหัวอ่านชุดนี้ไม่ผ่านการทดสอบมาตรฐานและต้องได้รับการซ่อมแซม

นอกจากนี้ในกรณีที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกของหัวอ่านบางหัวมีความเสียหายเกิดขึ้นในลักษณะรอยแตก จะส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าของหัวนั้นลดลง ซึ่งจะทำให้ความจุไฟฟ้ารวมของหัวอ่านชุดนั้นจะมีค่าลดลงเช่นกัน หากมีความแตกต่างจากค่าที่กำหนดเกินกว่าจะยอมรับได้หัวอ่านชุดนั้น (DSA1 หรือ DSA2) จะไม่ผ่านการทดสอบ

เทคนิคการทดสอบด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้ารวมในวงจรมอเตอร์ สามารถแยกแยะชุดหัวอ่านที่ดี และชุดหัวอ่านที่มีความบกพร่องออกจากกันได้ แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของหัวอ่าน/หัวเขียนที่มีความเสียหายเพื่อทำการซ่อมแซมเฉพาะหัวอ่าน/หัวเขียนที่เสียหาย ทำให้ต้องมีขบวนการในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบเพื่อระบุตำแหน่งความเสียหาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าที่สามารถระบุตำแหน่งความเสียหายของหัวอ่านได้ โดยทั่วไปเครื่องทดสอบที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้ารวมของหัวอ่านเท่านั้น

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือทดสอบได้ด้วยความรวดเร็ว ต้นทุนด้านอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบต่ำ จึงเหมาะกับการเป็นส่วนหนึ่งของสายการผลิตแต่ข้อจำกัดคือไม่สามารถระบุตำแหน่งความเสียหายได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับเทคนิคนี้และมุ่งหวังที่จะพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้าและสามารถระบุตำแหน่งความเสียหายของหัวอ่าน/หัวเขียนและใช้กับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกทุกๆแบบในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อให้ใช้งานจริงได้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้อธิบายโดยละเอียดในบทต่อไป

2.4 บทสรุป

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่ใช้งานเป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียดในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อขับเคลื่อนหัวอ่านไปที่ตำแหน่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยใช้คุณสมบัติแบบย้อนกลับ (reverse effect) ของเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งในขบวนการประกอบหัวอ่านจะเชื่อมต่อวงจรควบคุมเข้ากับวงจรไมโครแอกชูเอเตอร์ โดยการประกอบหัวอ่านหลายๆหัวเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงทำให้มีโอกาสเกิดความบกพร่องหรือเสียหาย ซึ่งทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานผิดปกติ ดังนั้นจึงต้องมีขบวนการตรวจสอบความสมบูรณ์ของการประกอบหัวอ่าน โดยใช้หลักการทำงานและคุณสมบัติวัสดุเพียโซอิเล็กทริกทั้งทางกลและทางไฟฟ้า

ในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคนิคในการทดสอบความบกพร่องของการประกอบวัสดุไมโครแอกชูเอเตอร์เข้ากับวงจรควบคุมของไมโครแอกชูเอเตอร์ ซึ่งมีวิธีต่างๆได้แก่ การทดสอบแบบเคลื่อนที่ของหัวอ่าน เช่น ePZT, LDV, DET ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งความผิดปกติของหัวอ่าน/หัวเขียนได้ แต่ไม่สามารถวัดค่าความผิดปกติของหัวอ่านกับเพียโซอิเล็กทริกได้ทุกประเภท ต้องการพื้นที่ใช้งานมาก เนื่องจากเครื่องทดสอบมีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการทดสอบนาน ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูง ส่วนการวัดค่า ค่าความจุไฟฟ้าของไมโครแอกชูเอเตอร์ยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งความผิดปกติของหัวอ่าน ทำให้เกิดความยุ่งยากในขั้นตอนต่อไป

บทที่ 3

แนวทางการแก้ปัญหา

บทนำ

จากบทที่ผ่านมาได้นำเสนอคุณสมบัติของวัสดุแบบเพียโซอิเล็กทริกที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านและเทคนิควิธีการตรวจสอบวงจรไฟฟ้าของไมโครแอกชูเอเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกที่มีในปัจจุบัน แม้ว่าจะมีวิธีการทดสอบที่หลากหลายแต่ยังคงมีข้อจำกัดในการทดสอบ เช่น ใช้ทดสอบได้กับวัสดุแบบเพียโซอิเล็กทริกบางประเภทเท่านั้น ราคาสูงและไม่เหมาะสมกับการใช้ในการในขบวนการผลิตจริง ดังนั้นในบทนี้จะได้นำเสนอวิธีใหม่ที่สามารถใช้ทดสอบกับไมโครแอกชูเอเตอร์หลายแบบ ใช้งานในสายการผลิตได้จริงและราคาไม่สูงมาก ในบทนี้จะพิจารณาคุณสมบัติทางอุณหภูมิของเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้งานเป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ เพื่อที่จะนำมาใช้พัฒนาเทคนิคการทดสอบทางไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาและข้อจำกัดของเทคนิคการทดสอบที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้

3.1 คุณสมบัติทางอุณหภูมิของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

3.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติความเป็นเพียโซอิเล็กทริก [15]

เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับความร้อนจะทำให้ค่าความยืดหยุ่นทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) หรือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความจุทางไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนไป แต่อุณหภูมิของวัสดุต้องไม่สูงกว่าค่าหนึ่งที่จะทำให้วัสดุดังกล่าวสูญเสียคุณสมบัติความเป็นเพียโซอิเล็กทริก กล่าวคือวัสดุนั้นจะไม่สามารถเกิดปรากฏการเพียโซอิเล็กทริกทั้งแบบตรงและแบบย้อนกลับได้ ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่า อุณหภูมิคูรี (Curie temperature) ซึ่งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแต่ละชนิดจะมีค่าอุณหภูมิคูรีที่ต่างกัน ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียคุณสมบัติความเป็นเพียโซอิเล็กทริกในการใช้งานจะหลีกเลี่ยงไม่ให้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับความร้อนสูง โดยทั่วไปถือว่าช่วงอุณหภูมิที่สูงไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าอุณหภูมิคูรี เป็นช่วงที่ปลอดภัย กล่าวคือสามารถใช้งานได้โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัตินั่นเอง

3.1.2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก[14]ที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้คือค่า C_0 จะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความยืดหยุ่นทางไฟฟ้า (electric permittivity: ϵ) ตามสมการที่ (3.1) เมื่อค่าความยืดหยุ่นทางไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมีย่อมทำให้ ค่า C_0 เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_0 = \varepsilon \frac{A}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad (3.1)$$

ε_r คือ ค่าความยอมยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (relative permittivity) หรือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant)

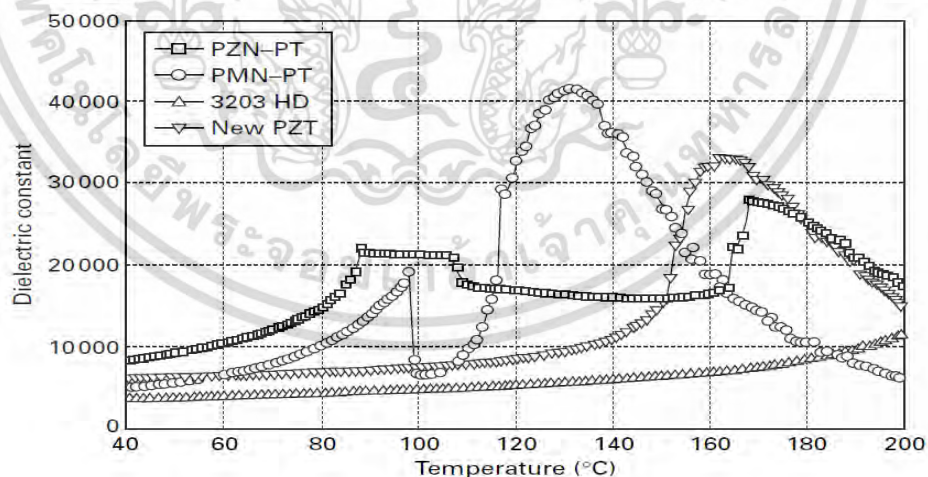
ε_0 คือ ค่าความยอมยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ (permittivity of free space)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ได้รับสนามไฟฟ้า

d คือ ความหนาของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือค่าความยอมยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ และ ค่าอุณหภูมิคูรีของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดต่างๆ

Properties	3203	PZT-5K	PZN-7%PZT	PMN-33%PT
Curie Temperature (°C)	225	160	167	140
Dielectric Constant at 1KHz	3800	6200	6500	5500



รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก หรือ ค่าความยอมยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิในช่วง 40 – 200 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การนำผลมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบความบกพร่องของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

เมื่อพิจารณาประเภทของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้เป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบัน[14] พบว่าจะเป็นชนิดที่ใช้ชื่อทางการค้าว่า 3203HD ซึ่งมี ค่าอุณหภูมิคูรีที่ 225°C มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ประมาณ 3800 เมื่อวัดที่อุณหภูมิห้องที่มีความถี่ 1kHz ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก มีการเปลี่ยนแปลงค่าในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตลอดช่วง $40 - 200^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ย่อมทำให้ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน อาศัยหลักการดังกล่าวนี้ หากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกของวงจรมิโครแอกชูเอเตอร์ ในขณะที่กำลังวัดค่าความจุไฟฟ้าย่อมสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้เช่นกัน ถึงแม้ว่าการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าดังกล่าวจะเป็นการวัดค่าผลรวมของเพียโซอิเล็กทริกหลายๆตัวที่ต่อขนานกัน แต่หากสามารถทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นที่เพียโซอิเล็กทริกตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียว ค่าความจุทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปที่สังเกตได้ย่อมเกิดจากเพียโซอิเล็กทริกตัวนั้นเท่านั้น ดังนั้นหากการเชื่อมต่อวงจรควบคุมกับเพียโซอิเล็กทริกตัวนั้นไม่สมบูรณ์ในลักษณะเปิดวงจร การเปลี่ยนแปลงของค่าความจุทางไฟฟ้าของเพียโซอิเล็กทริกตัวนั้นย่อมไม่ส่งผลต่อค่าความจุทางไฟฟารวมทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้วิธีการนี้ในการตรวจสอบและระบุได้ว่าเพียโซอิเล็กทริกตัวใดของวงจรมิโครแอกชูเอเตอร์ที่เกิดความไม่สมบูรณ์แบบเปิดวงจร

นอกจากนี้ในกรณีที่เพียโซอิเล็กทริกบางตัวเกิดความเสียหายเช่น แตกหรือหักเพียงเล็กน้อย แม้จะส่งผลให้ค่าความจุทางไฟฟารวมของวงจรมิโครแอกชูเอเตอร์ลดลงเล็กน้อย แต่หากค่าความจุทางไฟฟารวมยังมีค่าอยู่ในข้อกำหนดซึ่งไม่สามารถตรวจสอบความบกพร่องได้ก็อาจสร้างปัญหาในอนาคตได้ หากตั้งสมมติฐานว่าเพียโซอิเล็กทริกที่เกิดความเสียหายในลักษณะนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างจากเพียโซอิเล็กทริกที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ดังนั้นถ้าสามารถสังเกตความแตกต่างดังกล่าวได้ก็จะสามารถระบุได้ว่าเพียโซอิเล็กทริกตัวใดของวงจรมิโครแอกชูเอเตอร์เป็นตัวที่เกิดความไม่สมบูรณ์แบบแตกหรือหักได้

อย่างไรก็ตามเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติความเป็นเพียโซอิเล็กทริก อุณหภูมิที่เกิดขึ้นต้องมีการควบคุมอย่างเหมาะสมตลอดเวลา เพื่อไม่ให้สูงกว่าครึ่งหนึ่งของค่าอุณหภูมิคูรี หรือ 112.5°C จากสมมติฐานและเงื่อนไขดังกล่าว พบว่าวิธีที่น่าจะเหมาะสมที่สุดในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกของหัวอ่านคือ การให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ ด้วยเหตุผลดังนี้

1. การให้ความร้อนด้วยแสงเป็นวิธีการที่ไม่เกิดการสัมผัส ทำให้ไม่เกิดความเสียหายที่หัวอ่านซึ่งเปราะบางและเสียหายได้ง่าย

2. เนื่องจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีขนาดเล็ก (พื้นที่เพียโซอิเล็กทริกขนาด 1มม^2) และประกอบซ้อนกันเป็นชั้นๆตามจำนวนของหัวอ่าน การใช้ลำแสงเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กย่อมสามารถควบคุมให้แสงตกกระทบที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แหล่งพลังงานความร้อนต้องสามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยสามารถวัดความร้อนพร้อมกับการควบคุมการให้ความร้อนและระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสม พร้อมทั้งสามารถหยุดการให้ความร้อนได้ทันทีหากความร้อนเกินข้อกำหนด

3.3 บทสรุป

บทนี้ได้นำเสนอแนวทางการตรวจสอบความบกพร่องของวงจรไมโครแอกชูเอเตอร์ที่สามารถระบุตำแหน่งความบกพร่อง ที่เกิดจากวงจรควบคุม หรือวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ที่ต่อกับหัวอ่าน/หัวเขียนในตำแหน่งต่างๆได้ โดยใช้หลักการตรวจสอบจากการวัดค่าความจุไฟฟ้ารวมของวัสดุเพียโซ - อิเล็กทริกผ่านทางวงจรควบคุม เช่นเดียวกับวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน แต่ในขณะที่วัดค่าความจุไฟฟ้าจะมีการให้ความร้อนไปยังวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแต่ละหัวตามลำดับ หากหัวอ่าน/หัวเขียนใดได้รับความร้อนแล้ว ทำให้ค่าความจุไฟฟ้ารวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างสังเกตได้ แสดงว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและการเชื่อมต่อกับวงจรควบคุมของหัวนั้นมีความสมบูรณ์ แต่ถ้าค่าความจุไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหรือวงจรควบคุมสำหรับหัวนั้นมีความบกพร่องหรือไม่สมบูรณ์

บทที่ 4

การทดลอง และ ผลการทดลอง

บทนำ

จากบทที่ผ่านมาได้เรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางอุณหภูมิของวัสดุแบบเพียโซอิเล็กทริก ที่นำมาใช้เป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในขบวนการประกอบหัวอ่านยังพบความเสียหายหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อการตรวจสอบคุณภาพของหัวอ่าน จึงได้เสนอแนวทางการทดสอบทางไฟฟ้าเพื่อหาข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมต่อวงจรควบคุมและไมโครแอกชูเอเตอร์ของหัวอ่าน ด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมทั้งให้ความร้อนไปยังตำแหน่งต่างๆของหัวอ่าน/หัวเขียนเพื่อระบุตำแหน่งความเสียหายเพื่อสะดวกในการซ่อมแซมได้ โดยหัวอ่านที่มีการประกอบที่ดีค่าความจุไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อน แต่หัวอ่านที่บกพร่องค่าความจุไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ได้รับความร้อน ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับ อุปกรณ์ให้ความร้อน, อุปกรณ์ตรวจวัดความร้อนที่เกิดขึ้นบนไมโครแอกชูเอเตอร์ของหัวอ่าน, การวัดค่าความจุไฟฟ้า, การวิเคราะห์ค่าทางสถิติและการทดสอบหัวอ่านที่มีหัวอ่าน/หัวเขียนทั้งดีและเสีย เพื่อยืนยันว่าเทคนิควิธีการทดสอบที่นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อแยกหัวอ่านที่ดีและเสียออกจากกันได้จริง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ของไมโครแอกชูเอเตอร์กับอุณหภูมิ

จากที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้านี้ค่าความจุไฟฟ้าของไมโครแอกชูเอเตอร์จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไมโครแอกชูเอเตอร์สูงขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์คุณสมบัติดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการทดลองให้ความร้อนกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและวัดค่าความจุไฟฟ้า แต่ด้วยข้อจำกัดเรื่องการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก จึงจำเป็นต้องมีการเลือกอุปกรณ์ในการทดสอบที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์ให้ความร้อน, เครื่องตรวจวัดความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก และเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 แนวทางการเลือกอุปกรณ์ให้ความร้อนบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในงานวิจัย

เนื่องจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้งานเป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดค่อนข้างเล็กกล่าวคือ ความกว้าง 1 มม, ความยาว 1.35 มม และ ความหนา 0.13 มม เมื่อนำหัวอ่าน/หัวเขียนมาประกอบรวมกัน พื้นที่และระยะที่จะเข้าถึงจึงค่อนข้างแคบและไม่ให้มีผลกระทบต่อขบวนการผลิตการทดสอบควรใช้เวลาไม่เกิน 5 วินาทีต่อหัว ดังนั้นการให้ความร้อนกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจึงควรใช้เวลาไม่เกิน 2-3 วินาทีในแต่ละหัว และต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกินครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิคูรีหรือไม่เกิน 112 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นให้

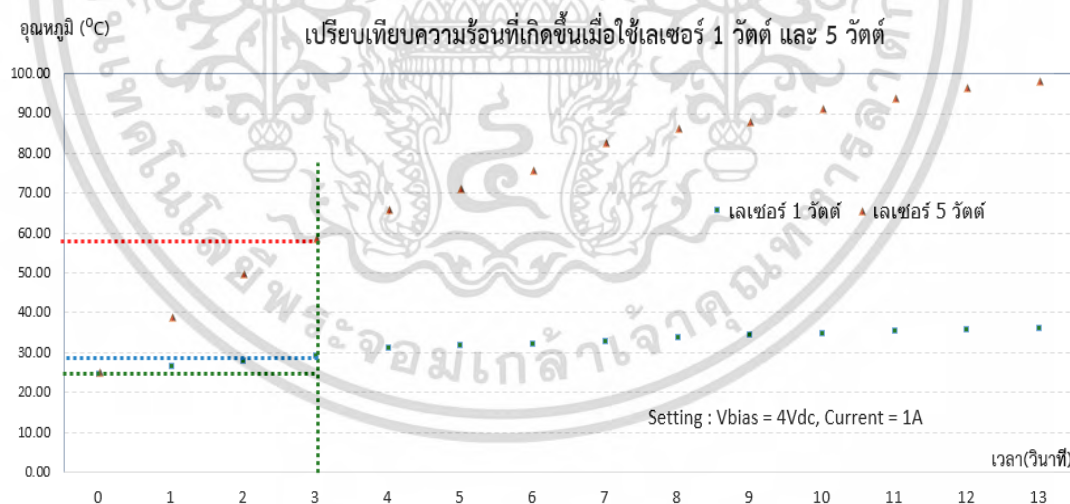
แม่นยำ ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวการให้ความร้อนด้วยลำแสงเลเซอร์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเทคนิคการทดสอบนี้ได้เป็นอย่างดี

คุณสมบัติสำคัญของเลเซอร์ที่นำมาใช้ในการทดลองได้แก่การสร้างและการควบคุมการให้ความร้อนที่ทำได้เป็นอย่างดี, ขนาดลำแสงที่ขนาดเล็กกว่าขนาดวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อให้เกิดความร้อนเฉพาะบริเวณที่ต้องการเท่านั้น

4.1.1.1 ขนาดกำลังงานของเลเซอร์และการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้น

ถึงแม้อุปกรณ์เลเซอร์จะเหมาะสมที่ใช้เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนกับเครื่องทดสอบ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาในการทดสอบ เพื่อไม่ทำให้กระทบกับขบวนการผลิตในการใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องเลือกขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เลเซอร์ที่สามารถให้ความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิของเพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลงจาก 27 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส ภายใน 3 วินาที เพื่อให้ค่าความจุไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง จนสามารถวิเคราะห์ค่าทางสถิติได้จากผลการทดสอบเลเซอร์ขนาด 1 วัตต์ และ 5 วัตต์ พบว่าเลเซอร์ขนาด 5 วัตต์สามารถให้พลังงานความร้อนแก่เพียโซอิเล็กทริกจนอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 27 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียสภายใน 3 วินาที ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้น จึงเลือกเลเซอร์ขนาด 5 วัตต์ เป็นอุปกรณ์ให้พลังงานความร้อนในงานวิจัยนี้

นอกจากนี้การควบคุมพลังงานความร้อนจากลำแสงเลเซอร์สามารถทำได้ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เลเซอร์และระยะเวลาที่ฉายแสงเลเซอร์



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เลเซอร์ 1 วัตต์ และ 5 วัตต์ในช่วงเวลา 3 วินาทีแรก ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

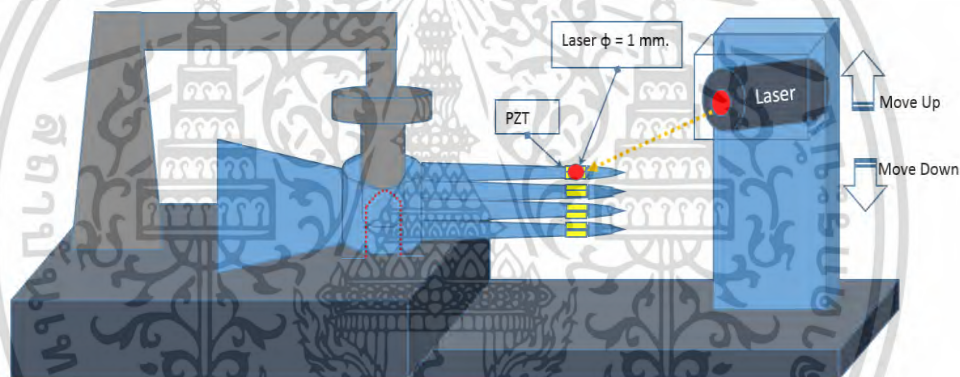
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานทดลองและการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ อุปกรณ์เลเซอร์ให้ความร้อน, อุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน และเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า

4.2.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์ให้ความร้อนในการทดลอง

4.2.1.1 ลำแสงขนาดเล็กของอุปกรณ์เลเซอร์

เนื่องจากเพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งบนหัวอ่าน/หัวเขียนเพื่อเป็นไมโครแอกชูเอเตอร์มีขนาดพื้นที่โดยประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้นอุปกรณ์เลเซอร์ที่ให้ความร้อนจึงจำเป็นต้องมีลำแสงขนาดเล็ก โดยลำแสงของเลเซอร์ที่เหมาะสมเมื่อตกกระทบ ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จึงจะทำให้การควบคุมตำแหน่งที่จะให้ความร้อนบนเพียโซอิเล็กทริกของหัวอ่าน/หัวเขียนมีความแม่นยำสูง พร้อมทั้งมีอุปกรณ์ชุดขับเคลื่อนเลเซอร์ในแนวตั้งเพื่อให้ใช้งานกับหัวอ่านที่มีการประกอบซ้อนกันหลายๆหัวในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 4.2

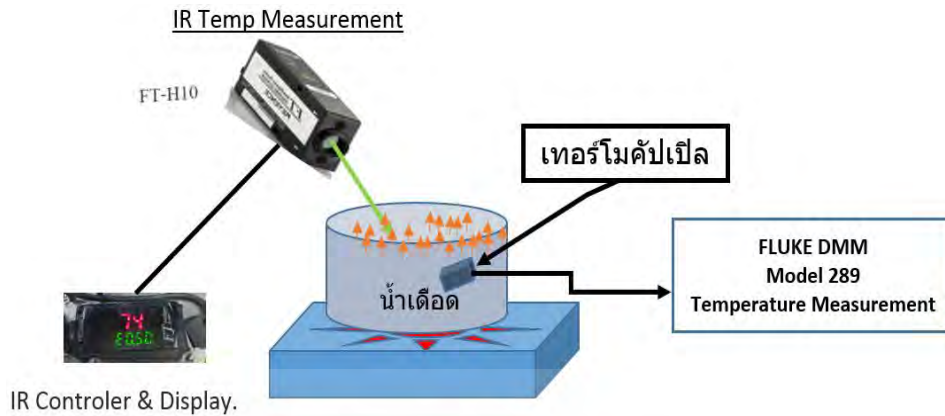


รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยแสงเลเซอร์พร้อมชุดขับเคลื่อนในแนวตั้ง

4.2.2 เครื่องตรวจวัดความร้อนเมื่อให้พลังงานความร้อน

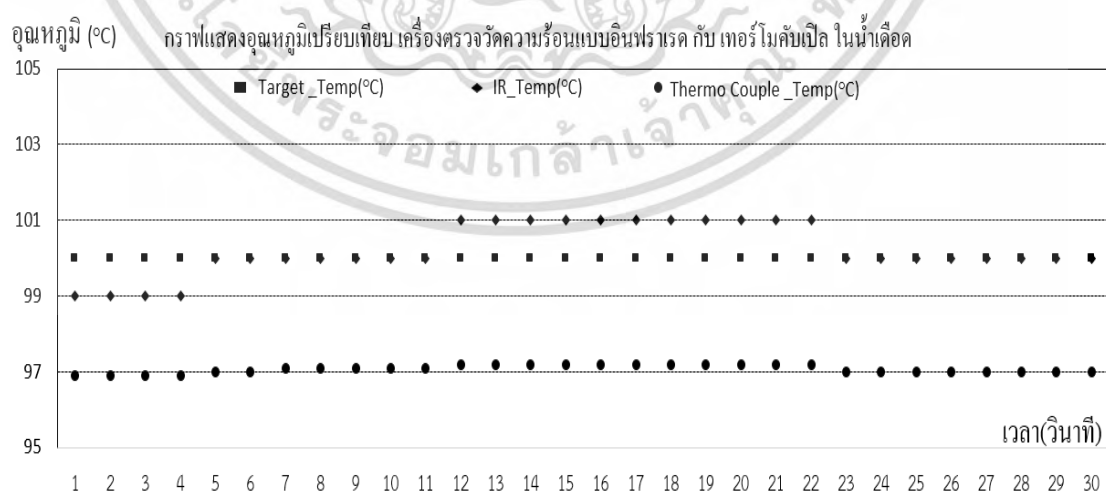
ในการทดสอบหากให้ความร้อนกับเพียโซอิเล็กทริกจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรีวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีโอกาสจะเกิดความเสียหายได้ การตรวจวัดความร้อนที่เกิดขึ้นบนไมโครแอกชูเอเตอร์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งการวัดความร้อนจะต้องเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวอุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรด (IR Temp Measurement) จึงถูกนำมาใช้เพื่อวัดอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยใช้หลักการตรวจจับรังสีคลื่นอินฟราเรดของวัสดุต่างๆที่เปล่ง/แผ่ออกมา แต่ก่อนใช้งานอุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดจำเป็นต้องถูกทดสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบการวัดค่าความร้อนกับเทอร์โมคัปเปิ้ลร่วมกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (FLUKE DMM Model 289) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดความร้อนพื้นฐาน โดยใช้การวัดอุณหภูมิของน้ำบริสุทธิ์ขณะกำลังเดือดซึ่งมีจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การทดสอบอุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดเปรียบเทียบกับการวัดค่าความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิลร่วมกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (FLUKE DMM Model 289)

ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดซึ่งมีค่า 100 องศาเซลเซียส อุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดแสดงค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 99-101 องศาเซลเซียส ในขณะที่ เทอร์โมคัปเปิล จะแสดงค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 97-98 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ด้วยอุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดจะแสดงค่าได้ใกล้เคียงกับ 100 องศาเซลเซียสและสูงกว่าในบางช่วงเวลา แต่ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ด้วยเทอร์โมคัปเปิลจะแสดงค่าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นการวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลซึ่งให้ค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น จึงน่าจะมีความเสี่ยงที่ความร้อนที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าที่ต้องการ นอกจากนี้การวัดความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิลไม่สามารถวัดความร้อนที่เกิดขึ้นบนผิววัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้ แต่อุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดสามารถวัดความร้อนโดยตรงบนผิวของเพียโซอิเล็กทริก ดังนั้นอุปกรณ์วัดความร้อนแบบอินฟราเรดจึงเหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองนี้

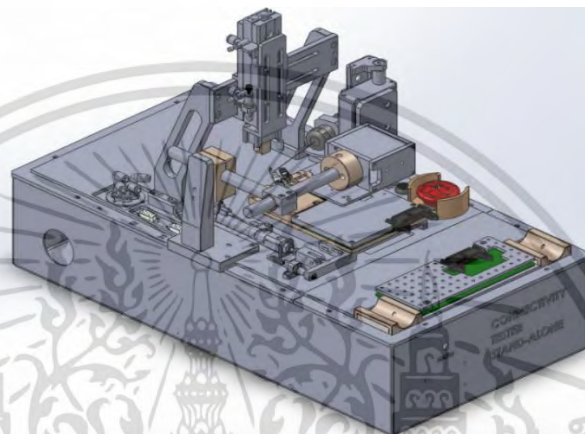


รูปที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดความร้อนรังสีอินฟราเรดและเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้งานในอุตสาหกรรมจริง เพื่อลดความแตกต่างในขบวนการทดสอบที่ใช้ในปัจจุบัน จึงเลือกใช้เครื่องมือวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามก่อนนำเครื่องมือวัดใดๆมาใช้ในการทดลองจำเป็นต้องมีการทดสอบเรื่องเสถียรภาพและความถูกต้องของเครื่องมือวัดที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องต้นแบบ ซึ่งก็คือเครื่องวัดทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวอ่าน (eCT: Electrical Continuity Tester) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เครื่องวัดทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวอ่าน (eCT: Electrical Continuity Tester)

4.2.3.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การทดสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดจะมีการวิเคราะห์ 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบด้านเสถียรภาพเครื่องมือวัดด้วยการทดสอบซ้ำๆโดยผู้ทดสอบคนเดิมและการทดสอบด้วยผู้ทดสอบหลายคน (Gauge Repeatability and Reproducibility, GR&R) และ การทดสอบความถูกต้อง โดยเปรียบเทียบเครื่องมือวัดที่จะใช้งานกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน (correlation) มีหลักการดังนี้[16]

1. การทดสอบด้านเสถียรภาพหรือความแม่นยำของเครื่องมือวัด

การทดสอบด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดมี 2 อย่างคือ การทดสอบซ้ำๆโดยผู้ทดสอบคนเดิมด้วยเงื่อนไขเดิม 3 ครั้งในแต่ละชิ้นงาน เพื่อทดสอบเสถียรภาพของเครื่องมือวัดด้วยการวัดซ้ำๆ จากนั้นจะทำการทดสอบด้วยผู้ทดสอบหลายคนด้วยเงื่อนไขเดิม 3 ครั้งในแต่ละชิ้นงานเป็นการทดสอบว่าเครื่องมือวัดจะให้ผลเหมือนเดิมแม้จะมีการเปลี่ยนผู้ทดสอบ จากนั้นเปรียบเทียบค่าการทดสอบด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดที่วัดได้โดยเงื่อนไขในการทดสอบที่ใช้ในปัจจุบันคือ %GR&R ต้องต่ำกว่า 10% ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า พบว่าการทดสอบด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดของการวัดค่าความจุไฟฟ้าตัวที่ 1 และค่าความจุไฟฟ้าตัวที่ 2 ผ่านการทดสอบ โดยค่า %GR&R มีค่าต่ำกว่า 4% ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ดังนั้นเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าผ่านการทดสอบและพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดในเสถียรภาพของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยการทดสอบซ้ำๆ ด้วยการ
ทำงานคนเดิมและการทดสอบแบบหลายคนทดสอบ[16]

ระดับ	ระดับความผันแปรของ % Tolerance	การตัดสินใจ
1	0 - 10%	ยอมรับ
2	10% - 30%	อาจจะยอมรับอย่างมีเงื่อนไข หรือไม่ยอมรับ (ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการวัดที่มีอยู่)
3	> 30%	ไม่ยอมรับ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเครื่องวัดด้วยการทดสอบซ้ำๆ และการทำงานด้วยคนหลายๆคน

Parameter	% GR&R	Result
Capacitance 1 (nF)	2.70%	PASSED
Capacitance 2 (nF)	3.12%	PASSED

2. การทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

เครื่องมือวัดที่ได้นอกจากการทดสอบเสถียรภาพของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแล้วยังต้องมีการทดสอบความถูกต้องด้วยซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่จะใช้งานกับเครื่องอ่านมาตรฐาน (correlation) โดยทดสอบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า (eCT) เปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบทางไฟฟ้ามาตรฐาน (Quasi Static Tester, QST:)

ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดในการทดสอบด้านความถูกต้อง หรือ เทียบกับเครื่องอ่านมาตรฐาน

Parameter	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ	ร้อยละการ ขดเซย	เงื่อนไข
Capacitance 1 (nF)	> 80%	< 5.0%	PASSED Only
Capacitance 2 (nF)	> 80%	< 5.0%	PASSED Only

โดยเงื่อนไขในการทดสอบ กำหนดว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต้องมากกว่า 0.80 หรือ ร้อยละ 80 และร้อยละการขดเซย (% Offset) ไม่เกินร้อยละ 4.3 แสดงตามตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบด้านความถูกต้อง หรือ เทียบกับเครื่องอ่านมาตรฐาน

Parameter	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ	ร้อยละการชดเชย	เงื่อนไข
Capacitance 1 (nF)	98%	2%	PASSED
Capacitance 2 (nF)	97%	3%	PASSED

ผลการทดสอบพบว่าเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า (eCT) ผ่านการทดสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่าร้อยละ 97 และค่าร้อยละการชดเชยต่ำกว่าร้อยละ 3 ของค่าความจุไฟฟ้าตัวที่ 1 และค่าความจุไฟฟ้าตัวที่ 2 ดังแสดงตามตารางที่ 4.4 จึงสามารถใช้งานเครื่องทดสอบนี้ในการทดลองได้

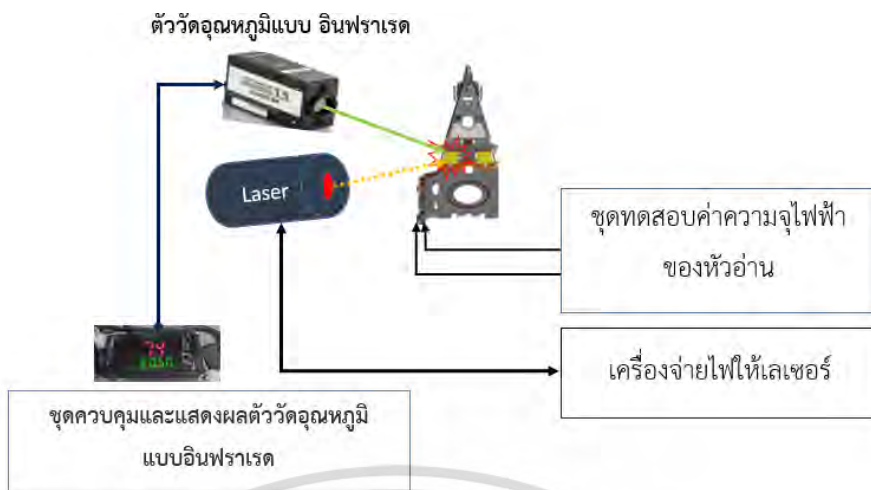
เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าได้ผ่านการทดสอบทั้งการทดสอบการวัดค่าซ้ำๆ การทดสอบการวัดค่าด้วยคนหลายคน และการทดสอบความถูกต้อง ดังนั้นเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า (eCT) สามารถใช้กับการทดลองในงานวิจัยได้

4.2.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่านพร้อมกับการให้ความร้อน

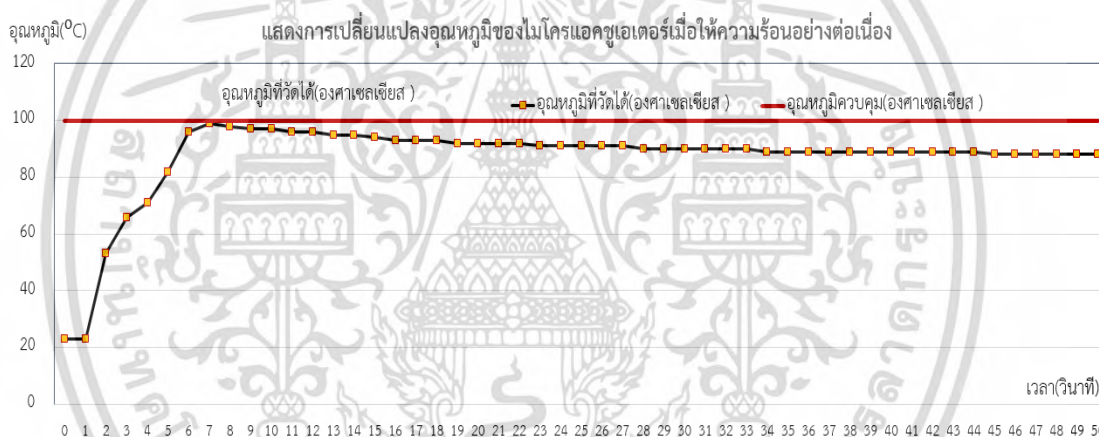
เมื่อได้เลือกอุปกรณ์ต่างๆที่จะใช้ในการทดลองแล้วซึ่งได้แก่ อุปกรณ์เลเซอร์ให้ความร้อนขนาด 5 วัตต์, เครื่องตรวจจับความร้อนแบบอินฟราเรดและเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาออกแบบเป็นชุดทดสอบหัวอ่าน/หัวเขียน เพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่านพร้อมกับการให้ความร้อนแก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ดังรูปที่ 4.6 โดยเริ่มต้นการทดลองที่อุณหภูมิห้อง 23 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ ทำให้เกิดความร้อนบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริก อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเพิ่มจาก 23 องศาเซลเซียส เป็น 71 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 3 วินาที อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 99 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 วินาที หลังจากนั้นอุณหภูมิจะคงที่และลดลงในเวลาถัดมาจนเป็น 88 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 50 วินาที ดังรูปที่ 4.7

เมื่อนำค่าความจุไฟฟ้าและอุณหภูมิมาล็อตเทียบเวลาพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 0.64 nF เป็น 1.22 nF หรือค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 90% ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 23 องศาเซลเซียสเป็น 71 องศาเซลเซียสภายในเวลา 3 วินาที ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริกคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความยินยอมทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 7 วินาที อุณหภูมิเพียโซอิเล็กทริกจะลดลงเล็กน้อยและมีค่าคงที่ในที่สุดทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลจากการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าก็ลดลงจาก 1.3 nF เป็น 1.25 nF ดังแสดงในรูปที่ 4.8

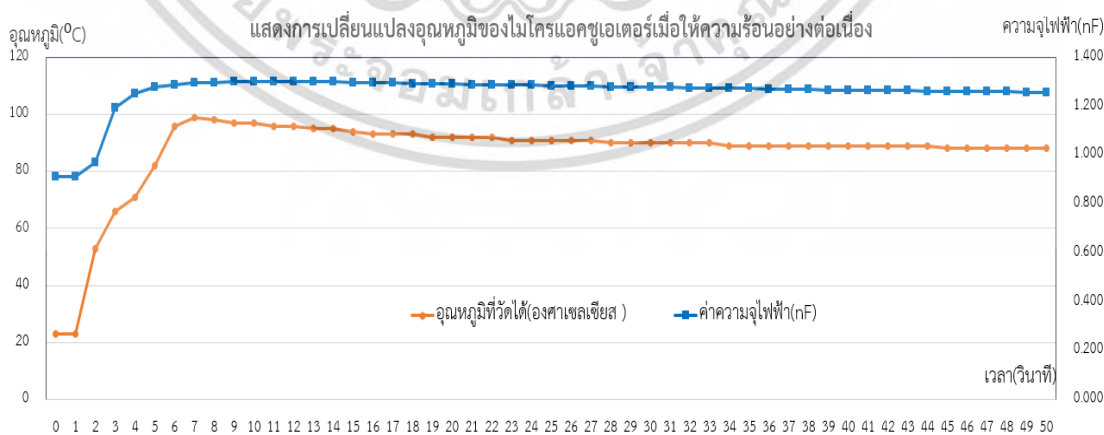
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมแสดงชุดทดสอบหัวอ่าน/หัวเขียน เพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน พร้อมกับการให้ความร้อนแก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริก



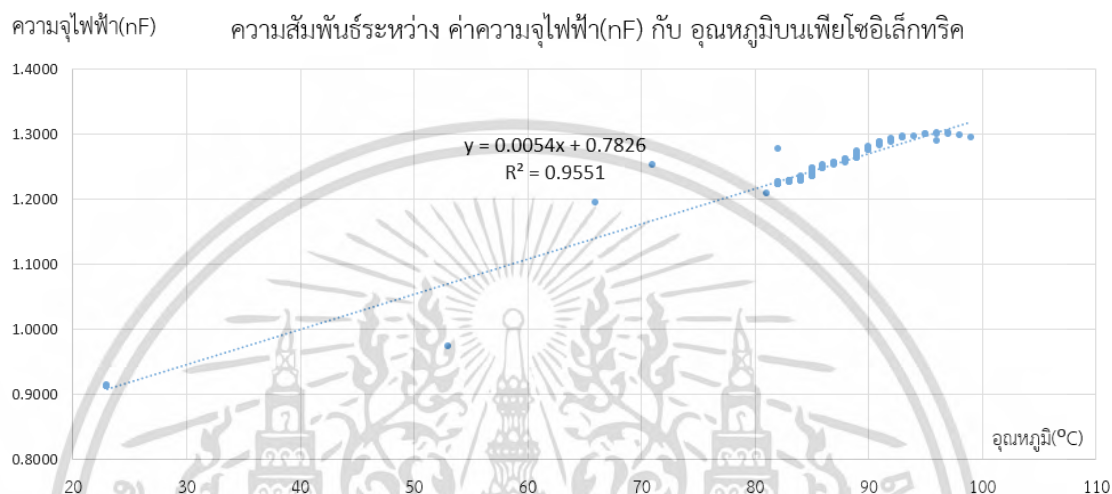
รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไมโครแอกชูเอเตอร์เมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไมโครแอกชูเอเตอร์และค่าความจุไฟฟ้าเมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

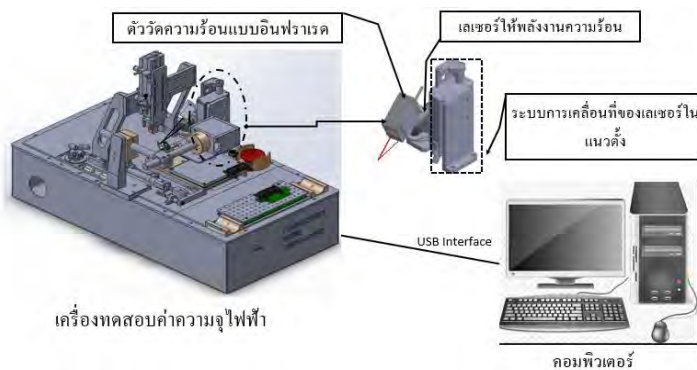
เมื่อนำผลการทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆของไมโครแอกซูเอเตอร์ไปวิเคราะห์ การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและ อุณหภูมิ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าความจุไฟฟ้าของ เพียโซ- อิเล็กทริกมีค่าประมาณ 0.0054 nF ต่อ 1 องศาเซลเซียส ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.95 แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าวัดได้กับอุณหภูมิที่วัดได้บนไมโครแอกซูเอเตอร์

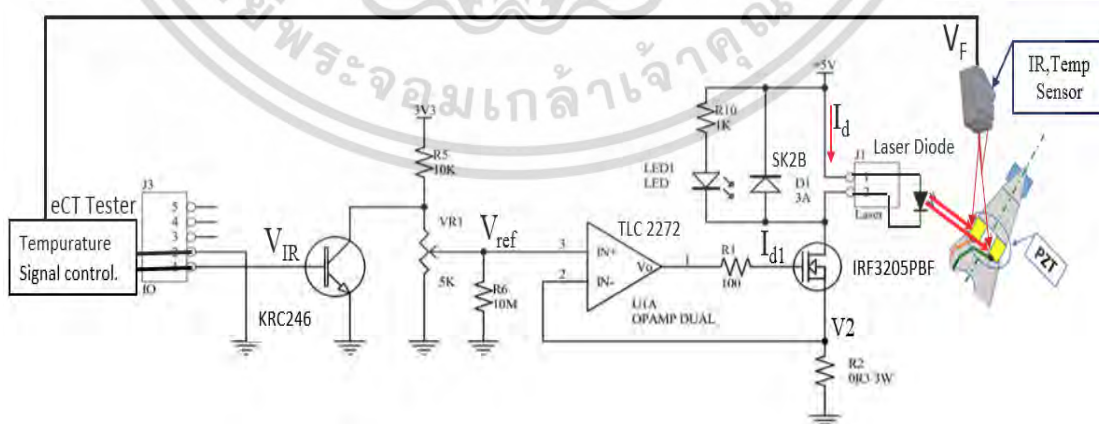
4.3 แนวคิดและหลักการออกแบบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

หลังจากการทดสอบแนวคิดการออกแบบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์เพื่อให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำมาสร้างเป็นเครื่องทดสอบหัวอ่าน โดยทำการติดตั้งเลเซอร์ให้ความร้อน พร้อมระบบการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเพื่อเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติในตำแหน่งต่างๆของหัวอ่าน เครื่องวัดนี้ทำงานร่วมกับระบบการตรวจสอบและควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นบนไมโครแอกซูเอเตอร์เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนเกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อนแบบอินฟราเรดเชื่อมต่อกับเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า โดยที่มี การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์บนเครื่องทดสอบ, การตั้งค่าต่างๆของเครื่องทดสอบ, การวัดค่าทางไฟฟ้าอื่นๆ, การประมวลผล, การเก็บข้อมูลจากเครื่องทดสอบและอื่นๆ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

การควบคุมการให้ความร้อนของเลเซอร์ ทำได้โดยการควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอด ดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 4.11 ในวงจรนี้กระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดคือกระแสตรงของ ทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งกำหนดจากอัตราส่วนระหว่าง V_{ref} ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_2 และความต้านทาน R_2 การป้องกันอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100 องศาเซลเซียสทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า V_F ซึ่งเป็นเอาพุตจากอุปกรณ์วัดความร้อนขณะกำลังทำงานกับค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่ม (ที่ได้มาจากค่า V_F ขณะที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส) ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ค่า V_{IR} ซึ่งเป็นเอาพุตจากการเปรียบเทียบจะให้ค่าลอจิกศูนย์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ KRC246 (Q2) เป็น 0 โวลต์ ดังนั้นทรานซิสเตอร์ Q2 จะยังไม่ทำงาน แต่เมื่ออุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ V_F มีค่าสูงกว่าแรงดันขีดเริ่ม ทำให้ V_{IR} เปลี่ยนเป็น 3.3 โวลต์ ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงาน ส่งผลให้ V_{ref} และ V_2 ที่ขาซอสของ Q1 เป็น 0 โวลต์จะทำให้ Q1 หยุดการทำงาน และไม่มีกระแสไหลผ่านเลเซอร์ไดโอด เป็นการหยุดการให้ความร้อนกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก สำหรับไดโอด D1 ที่ต่อक्रमวงจรเลเซอร์ไดโอด มีเพื่อป้องกันแรงดันกลับขั้วจากผลของความเหนี่ยวนำในสายเมื่อต่อสายเลเซอร์ไดโอดยาวมาก (ในการใช้งานจริงต่อสายยาวเกินกว่า 1 เมตร)

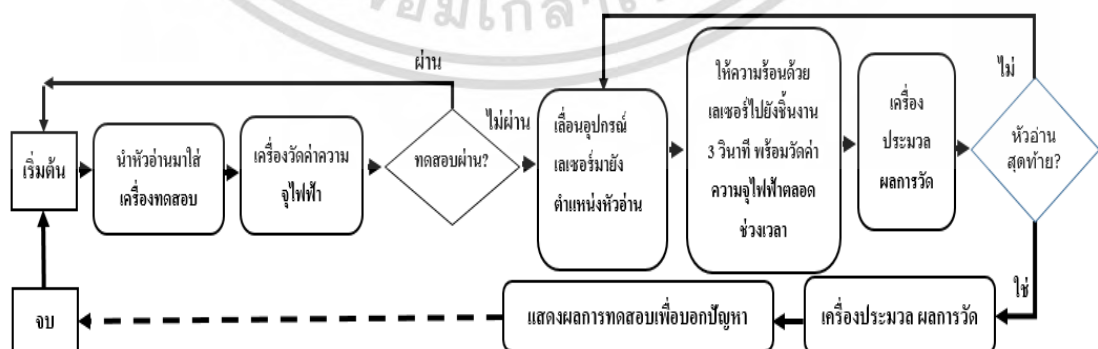


รูปที่ 4.11 วงจรควบคุมอุปกรณ์เลเซอร์ให้ความร้อนพร้อมระบบป้องกันการให้ความร้อนเกินของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

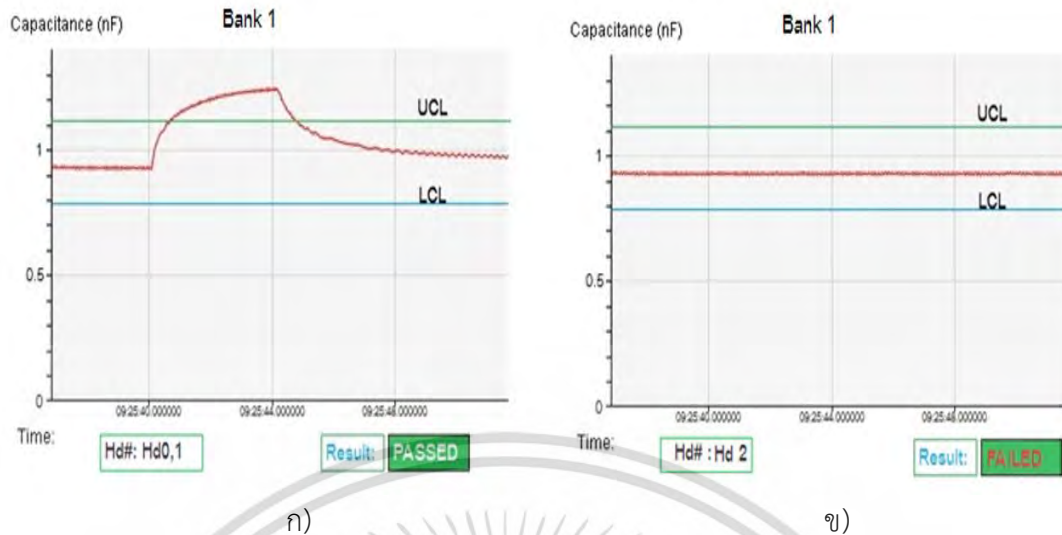
การทำงานของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์ เริ่มต้นด้วยการนำหัวอ่านใส่ไปที่ตัวเครื่องทดสอบ จากนั้นเครื่องจะอ่านบาร์โค้ด (barcode) ของหัวอ่านเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการสร้างและเก็บข้อมูลการทดสอบ หลังจากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดค่าความจุไฟฟ้ารวมแล้วนำค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับข้อกำหนดของหัวอ่านแต่ละแบบ เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของการประกอบหัวอ่าน ถ้าไม่พบความผิดปกติจะไม่มี การทดสอบไมโครแอกชูเอเตอร์ในขั้นต่อไป แต่ถ้าหากพบความผิดปกติของค่าความจุไฟฟ้ารวมของไมโครแอกชูเอเตอร์ เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์ จะทำการทดสอบในระดับถัดไป โดยเริ่มจากอุปกรณ์เลเซอร์ให้ความร้อนจะเลื่อนไปในตำแหน่งของหัวอ่านแรกของชุดหัวอ่านที่ทดสอบไม่ผ่าน โดยเริ่มทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าก่อนให้ความร้อนไปยังเพียโซอิเล็กทริก เป็นค่าทดสอบก่อนการให้ความร้อน หลังจากนั้นเครื่องทดสอบจะเริ่มให้ความร้อนพร้อมกับการวัดค่าความจุไฟฟ้าในทุกๆ 0.1 วินาที เป็นเวลา 3 วินาที เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้าโดยจะได้ข้อมูลทั้งหมด 31 ข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลดิบ โปรแกรมจะคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าพิสัยของแต่ละหัวอ่าน/หัวเขียน เพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของค่าความจุไฟฟ้า จากนั้นอุปกรณ์เลเซอร์จะเคลื่อนที่ไปยังหัวอ่าน/หัวเขียนถัดไป เพื่อทำการทดสอบแบบเดียวกันจนครบทุกหัวอ่าน/หัวเขียน ดังแสดงในรูปที่ 4.12

เมื่อเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์ทดสอบจนครบทุกหัวอ่าน/หัวเขียนแล้ว โปรแกรมจะประมวลผลและแสดงผลการทดสอบคือหัวอ่านที่ผ่านการทดสอบจะแสดงผลการทดสอบตามรูป ก) แต่หากหัวอ่านมีข้อบกพร่องจะแสดงผลการทดสอบว่าหัวอ่านไม่ผ่านการทดสอบพร้อมทั้งแสดงตำแหน่งหัวอ่านที่มีความบกพร่องตามรูป ข) ดังรูปที่ 4.13 แต่เนื่องจากในแต่ละหัวอ่านได้ออกแบบชุดหัวอ่าน/หัวเขียนเป็น 2 ชุดคือชุดที่ 1 (CT_1) และชุดที่ 2 (CT_2) ดังนั้นหากเกิดความบกพร่องในชุดใดชุดหนึ่งหัวอ่านเครื่องทดสอบ จะทดสอบเฉพาะชุดที่มีปัญหาเท่านั้นเพื่อลดขั้นตอนและเวลาในการทำงานของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การแสดงผลการทดสอบ ก) หัวอ่านที่ผ่านการทดสอบ ข) หัวอ่านที่ไม่ผ่านการทดสอบ โดยระบุตำแหน่งหัวอ่านที่เสียหาย

4.4 การทดสอบเสถียรภาพเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

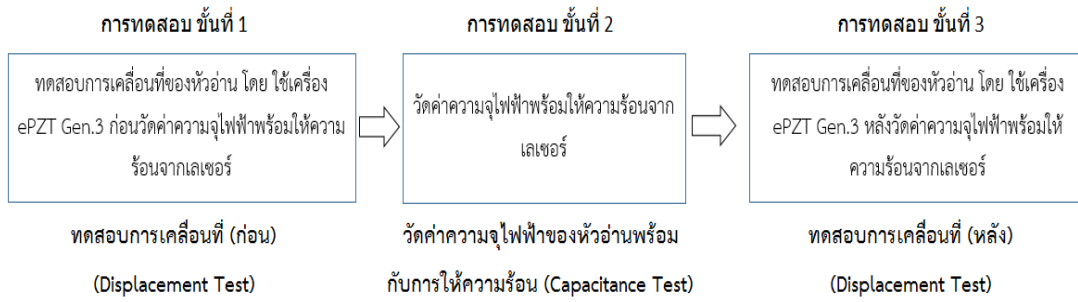
เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้เป็นไมโครแอกชูเอเตอร์ในการขับเคลื่อนหัวอ่านจะมีผลโดยตรงกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น หากเพียโซอิเล็กทริกได้รับความร้อนเกินอุณหภูมิคูรีจะทำให้คุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเทคนิคของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์จะต้องให้ความร้อนไปยังไมโครแอกชูเอเตอร์โดยตรงซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์จะไม่สร้างความเสียหายใดๆให้กับไมโครแอกชูเอเตอร์เมื่อใช้งานเครื่องนี้ในขบวนการผลิตจริง จึงได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4.14

การทดสอบขั้นตอนที่ 1. ทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน/หัวเขียน ด้วยเครื่องทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน (displacement tester) ด้วยเครื่อง ePZT Gen3 ก่อนการทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

การทดสอบขั้นตอนที่ 2. ทดสอบหัวอ่าน/หัวเขียน วัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

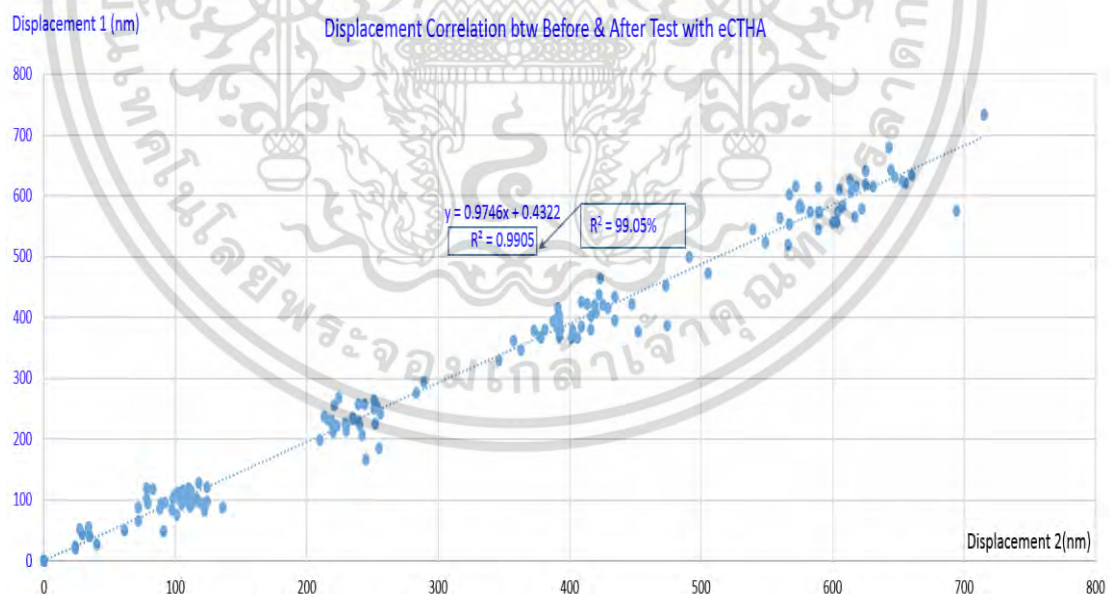
การทดสอบขั้นตอนที่ 3. ทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน/หัวเขียน ด้วยเครื่องทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ด้วยเครื่อง ePZT Gen3 หลังจากผ่านก่อนการทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านก่อนและหลังการทดสอบด้วยค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์

จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติการเคลื่อนที่ ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในหัวอ่านไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์ จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพบว่า การเคลื่อนที่ของหัวอ่านในค่าทดสอบต่างๆทั้งก่อนและหลัง แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ สูงถึง 99.05% หรือ $R^2 = 0.9905$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้พลังงานความร้อนจากเลเซอร์ไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการเคลื่อนที่ ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านแสดงความสัมพันธ์ ก่อนและหลัง การวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้พลังงานความร้อนจากเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

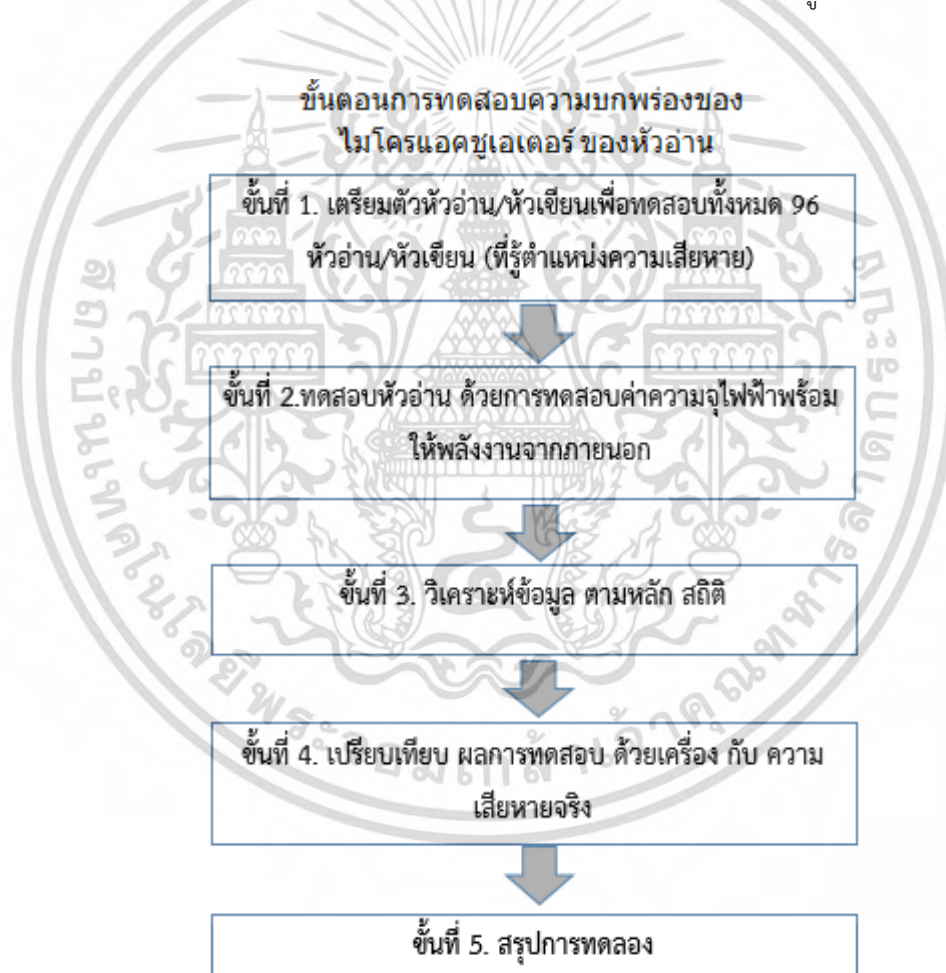
4.5 การทดลองและผลการทดลอง

ในหัวข้อที่ผ่านมาเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมความร้อนจากเลเซอร์ได้ผ่านการทดสอบแล้วและพร้อมนำมาใช้งาน จึงได้นำไปทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้ากับหัวอ่านในขบวนการผลิตทั้งหมด 96 หัวอ่าน/หัวเขียนตามขบวนการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าทางสถิติแบบต่างๆดังนี้

4.5.1 การออกแบบการทดลอง

4.5.1.1 วิธีการทดลอง

การทดลองจะทดสอบหัวอ่าน/หัวเขียน จำนวน 96 หัว ประกอบด้วย หัวอ่าน/หัวเขียนที่สมบูรณ์ 64 หัวและหัวอ่าน/หัวเขียนที่มีข้อบกพร่อง 32 หัว เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องในการแยกแยะหัวอ่าน/หัวเขียนที่ประกอบสมบูรณ์และบกพร่องของเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์ต้นแบบ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติ

ในขบวนการวัดและการวิเคราะห์ ค่าความจุไฟฟ้าจะวัดค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน/หัวเขียนก่อนให้ความร้อนเป็นค่าเริ่มต้น (initial capacitance value) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง หลังจากนั้นจะให้ความร้อนพร้อมวัดค่าความจุไฟฟ้าในทุก 0.1 วินาที ภายในเวลา 3 วินาที จากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดที่วัดได้มาคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าพิสัย เพื่อตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้า

ค่าทางสถิติต่างๆที่จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ค่าเฉลี่ยเลขคณิต, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าพิสัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.5.2.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ใช้สัญลักษณ์ μ สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากกลุ่มตัวอย่างตามสมการที่ (4.1) และใช้สัญลักษณ์ \bar{X} สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากประชากรทั้งหมดตามสมการที่ (4.2)

1. ค่าเฉลี่ยของประชากร (μ)

$$\mu = [\sum_{i=1}^N X_i] / N ; \text{เมื่อ } i = 1.2.3.4...N ; \quad (4.1)$$

เมื่อ X_i คือ ข้อมูลของประชากร

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของประชากร

2. ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง (\bar{X})

$$\bar{X} = [\sum_{i=1}^n x_i] / n ; \text{เมื่อ } i = 1.2.3.4...n ; \quad (4.2)$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

4.5.2.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการวัดการกระจายตัวของข้อมูลทางสถิติเพราะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงการกระจายตัวของข้อมูล หากข้อมูลมีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำ ในทางตรงข้าม หากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงข้อมูลจะกระจายตัวมาก ซึ่งการหาส่วนเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานสามารถหาได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (4.3) และสมการที่ (4.4) วิธีที่ 2. เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง (S.D. หรือ s) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (4.5) และสมการที่ (4.6)

การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถหาได้ 2 วิธี

1) การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ)

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - u)^2 / N} ; \text{เมื่อ } i=1.2.3.4\dots N \quad (4.3)$$

หรือ

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i)^2 / N - (u)^2} ; \text{เมื่อ } i=1.2.3.4\dots N \quad (4.4)$$

เมื่อ σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

X_i คือ ข้อมูลของประชากร

u คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของประชากร

2) S.D. หรือ s เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 / n} ; \text{เมื่อ } i=1.2.3.4\dots n \quad (4.5)$$

หรือ

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 / n - \bar{X}^2} ; \text{เมื่อ } i=1.2.3.4\dots n \quad (4.6)$$

เมื่อ s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_i คือ ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง (\bar{X}) ตามสมการที่ (4.3) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง (s) ตามสมการที่ (4.5) หรือ (4.6) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเนื่องจากการทดลองใช้กลุ่มตัวอย่างของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.3 ค่าพิสัย (Range, R)

ค่าพิสัย เป็นค่าวัดการกระจายตัวของข้อมูลโดยพิจารณาความแตกต่าง ระหว่างค่าสูงสุด (X_{Max}) กับ ค่าต่ำสุด (X_{Min}) ที่วัดได้ตามสมการที่ (4.7) ทำให้วิเคราะห์ได้ค่าความแตกต่างของการวัดได้

$$\text{Range} = X_{Max} - X_{Min} \quad (4.7)$$

4.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าสถิติของค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน/หัวเขียนที่ดีและเสีย

4.5.3.1 การวัดค่าความจุไฟฟ้า

การวัดค่าความจุไฟฟ้าทำในห้องที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส โดยเครื่องทดสอบจะเริ่มวัดค่าความจุไฟฟ้าก่อนให้ความร้อน เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้น จากนั้นเครื่องทดสอบจะให้ความร้อนแบบต่อเนื่องพร้อม กับวัดค่าความจุไฟฟ้าทุก 0.1 วินาที เป็นเวลา 3 วินาที ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหัวอ่าน/หัวเขียน จะได้ค่าความจุไฟฟ้าจำนวน 31 ค่า ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณหาค่าทางสถิติ 3 ค่าคือ ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และพิสัย ซึ่งนับเป็น 1 ชุด ข้อมูลของหัวอ่าน/หัวเขียน 1 หัว การทดลองจะทำทั้งหมด 96 หัวอ่าน/หัวเขียน จึงมีข้อมูลทั้งสิ้น 96 ชุด ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในขบวนการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป

4.5.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าสถิติของค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่านที่ดีและเสีย ด้วยโปรแกรม Minitab

ค่าทางสถิติของค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ อันได้แก่ ค่าเฉลี่ย (\bar{X}), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) และพิสัย (R) ของหัวอ่านที่ดีและเสียรวม 96 หัว ถูกนำมาวิเคราะห์การกระจายตัว โดยแยกเป็นการกระจายตัวของหัวอ่านที่ดีและของหัวอ่านที่เสีย และเปรียบเทียบเพื่อหาค่าทางสถิติค่าใดที่เหมาะสมที่สุดในการใช้คัดแยกหัวอ่านที่ดีและหัวอ่านที่เสีย

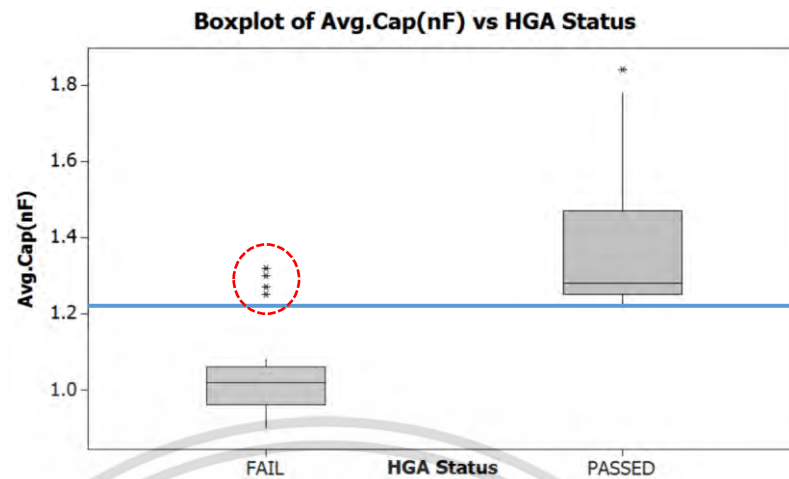
1) การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้ค่าเฉลี่ยของหัวอ่านที่ดีและเสีย

การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยของหัวอ่านที่ดีและเสีย พบว่าค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยของหัวอ่านที่ดีมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 1.2-1.5 nF ในขณะที่หัวอ่านที่เสียจะมีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.9-1.1 nF จากการวิเคราะห์พบว่าหัวอ่านที่เสียบางตัวมีค่าความจุไฟฟ้ากระจายตัวปนอยู่กับหัวอ่านที่ดีในช่วง 1.2-1.35 nF สาเหตุมาจากคุณสมบัติของค่าความจุไฟฟ้าของเพียโซอิเล็กทริกแต่ละตัวที่แตกต่างกัน และผลจากการกระเจิงของเลเซอร์ไปยังหัวอ่านข้างเคียง

ดังนั้นวิเคราะห์ข้อมูลและแยกแยะหัวอ่าน/หัวเขียนโดยใช้ค่าเฉลี่ยจึงไม่เหมาะสมใน

การคัดแยกหัวอ่านที่ดีและหัวอ่านที่เสียออกจากกันดังแสดงในรูปที่ 4.17

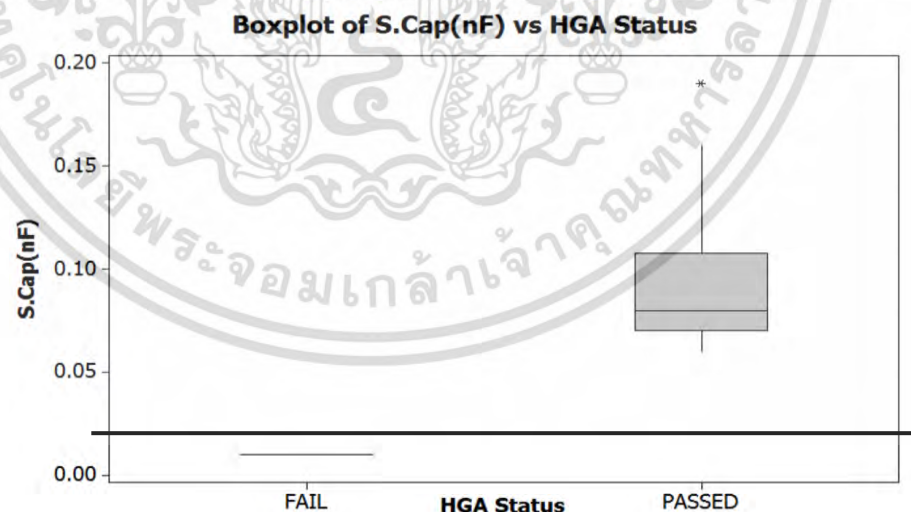
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยค่าเฉลี่ยของหัวอ่านที่ดีและเสีย

2 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหัวอ่านที่ดีและเสีย

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้พบว่า จะแบ่งเป็นสองกลุ่มที่มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังที่แสดงในรูปที่ 4.18 ดังนั้น การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถแยกแยะหัวอ่านดีและหัวอ่านเสียออกจากกันได้เป็นอย่างดี

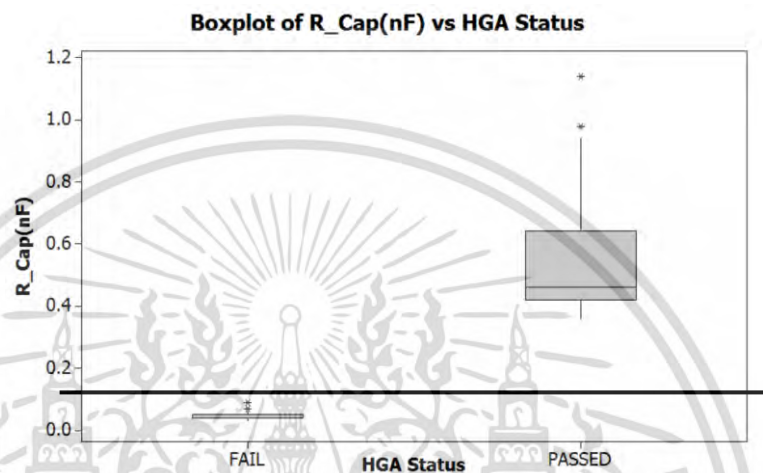


รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหัวอ่านที่ดีและเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้ค่าพิสัยของหัวอ่านที่ดีและเสีย

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้ค่าพิสัยเพื่อแยกแยะหัวอ่านดีและหัวอ่านเสีย พบว่าการกระจายของค่าพิสัยค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน/หัวเขียนที่ดีและเสียมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยค่าพิสัยจึงสามารถใช้แยกแยะหัวอ่านดีและหัวอ่านเสียได้เป็นอย่างดี ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าด้วยค่าพิสัยของหัวอ่านที่ดีและเสีย

4.5.4 การหาค่ากำหนดขีดเริ่ม (Threshold Value) เพื่อแยกแยะหัวอ่านที่ดีและเสีย

จากหัวข้อที่แล้วจะเห็นได้ว่าค่าทางสถิติ 2 ค่าคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าพิสัย เหมาะสมที่จะใช้คัดแยกหัวอ่านดีและเสียออกจากกัน เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในขบวนการผลิตจริงซึ่งจะต้องมีความแม่นยำ, ความรวดเร็วและยิ่งไปกว่านั้น ในเรื่องคุณภาพของการตรวจสอบต้องแยกแยะหัวอ่านที่เสียออกจากหัวอ่านที่ดีได้มากที่สุด ด้วยเหตุผลดังกล่าว วิธีการทดสอบด้วยการใช้ค่ากำหนดขีดเริ่ม จึงถูกนำมาใช้ และการกำหนดค่ากำหนดขีดเริ่มที่เหมาะสมจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขให้หัวอ่านที่เสียปนไปกับหัวอ่านที่ดีน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาภายใต้สมมติฐานว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) และ คัดแยกหัวอ่านที่เสียออกจากหัวอ่านที่ดีเป็นหลัก เราสามารถ กำหนดค่ากำหนดขีดเริ่มด้วย เงื่อนไขว่าจะต้องครอบคลุม 99.73% หรือ $\bar{X} \pm 3s$ ของหัวอ่านที่เสีย เพื่อให้หัวอ่านที่เสียปะปนไปกับหัวอ่านที่ดีน้อยที่สุด ซึ่งเป็นจุดที่ยอมรับได้ในทางอุตสาหกรรมเมื่อต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 4.5 ตารางคำนวณค่าทางสถิติ ($\bar{X} \pm 3s$) เพื่อหาค่ากำหนดขีดเริ่ม เพื่อการทดสอบหัวอ่านในแต่ละค่าสถิติ

HGA Condition	Statistic	Mean	Standard DEV	Range	Threshold	Remark:
		Avg.Cap(nF)	S.Cap(nF)	R_Cap(nF)		
PASSED	+3S	1.81	0.18	1.10	No	
	+2S	1.66	0.15	0.91	No	
	+1S	1.51	0.12	0.73	No	
	\bar{X}	1.36	0.09	0.54	No	
	-1S	1.21	0.06	0.36	No	
	-2S	1.06	0.03	0.18	No	
	-3S	0.91	0.00	0.00	No	
FAILED	+3S	1.41	0.02	0.09	Yes	Cover 99.73% of distribution
	+2S	1.29	0.01	0.08	No	
	+1S	1.17	0.01	0.06	No	
	X	1.04	0.01	0.05	No	
	-1S	0.92	0.01	0.03	No	
	-2S	0.80	0.00	0.02	No	
	-3S	0.68	0.00	0.00	No	

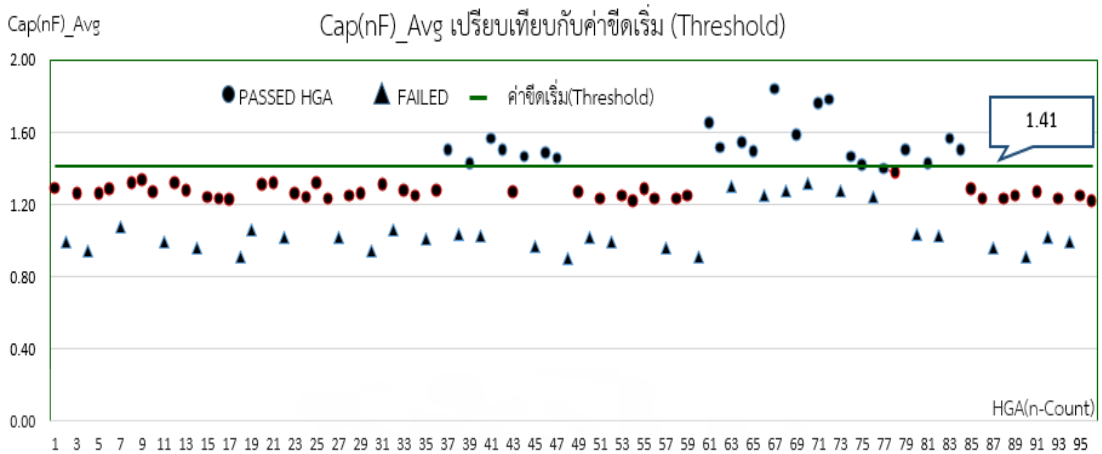
จากการคำนวณ ได้ค่ากำหนดขีดเริ่มของชุดข้อมูลค่าเฉลี่ยเลขคณิต มีค่าเท่ากับ 1.41 nF, ค่ากำหนดขีดเริ่มของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.02 nF และ ค่ากำหนดขีดเริ่มของพิสัยมีค่าเท่ากับ 0.09 nF ดังตารางที่ 4.5 และจะนำไปทดสอบความแม่นยำ กับหัวอ่าน/หัวเขียนในหัวข้อถัดไป

4.5.5 ผลการทดลอง

การวัดค่าความจุไฟฟ้าของไมโครแอกซูเอเตอร์ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ โดยการทดสอบ 96 หัวอ่าน/หัวเขียนที่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับการประกอบ และความเสียหายของหัวอ่าน/หัวเขียนทั้งหมด โดยการวัดค่าความจุไฟฟ้าขณะที่มีการให้ความร้อนจากเลเซอร์ เมื่อวัดค่าความจุไฟฟ้า โปรแกรมจะคำนวณค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าพิสัยของค่าความจุไฟฟ้าในแต่ละหัวอ่านจากนั้นจะนำค่าทั้งหมดเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม ที่ได้ตั้งไว้เพื่อทดสอบคุณภาพของการประกอบหัวอ่าน

4.5.5.1 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าความจุไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม

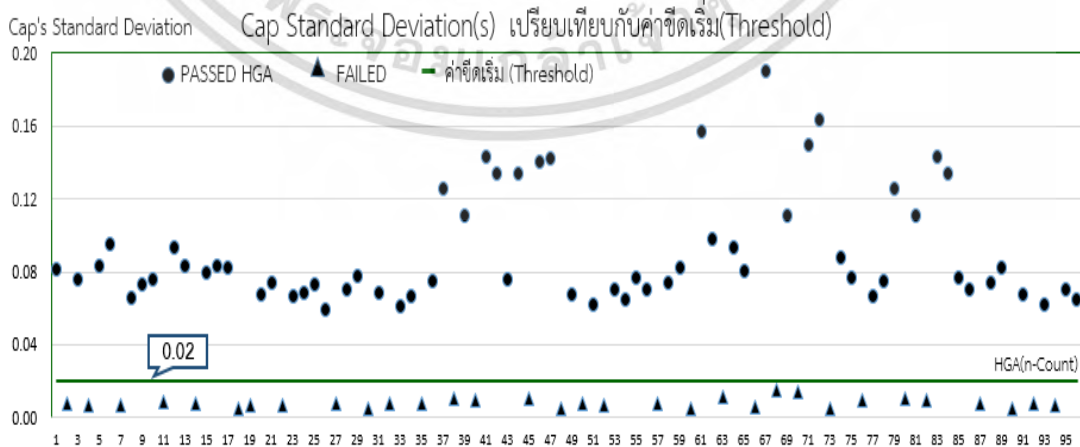
เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มที่มีค่า 1.41 nF พบว่าหัวอ่าน/หัวเขียนที่มีการประกอบ วงจรเพียโซอิเล็กทริกเข้ากับวงจรควบคุมสมบูรณ์ที่แสดงด้วยจุดกลมอยู่เหนือเส้นค่ากำหนดขีดเริ่ม ส่วนหัวอ่านที่ประกอบไม่สมบูรณ์ที่แสดงเป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ใต้เส้นค่ากำหนดขีดเริ่ม ดังรูปที่ 4.20 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาให้ถี่จะพบว่ายังมีหัวอ่าน/หัวเขียนที่ตีปนเข้าไปในข้อมูลหัวอ่านที่เสียจำนวน 42 หัวอ่านหรือคิดเป็นร้อยละ 44 โดยพิจารณาจุดกลมอยู่ใต้เส้นค่ากำหนดขีดเริ่ม จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน



รูปที่ 4.20 การกระจายของค่าเฉลี่ยความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน/หัวเขียนเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม

4.5.5.2 การวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม

จากข้อมูลพบว่าหัวอ่าน/หัวเขียนที่มีการประกอบสมบูรณ์ ค่าความจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากเมื่อได้รับความร้อน จึงมีการกระจายตัวของข้อมูลสูงทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง ส่วนหัวอ่าน/หัวเขียนที่เสีย ค่าความจุไฟฟ้าแทบไม่เปลี่ยนแปลงจึงทำให้การกระจายตัวของข้อมูลต่ำและทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ เมื่อนำข้อมูลทั้ง 96 หัวอ่าน/หัวเขียน มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มที่มีค่า 0.02 nF พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหัวอ่าน/หัวเขียนที่ดีซึ่งแสดงเป็นจุดกลมจะอยู่เหนือเส้นค่ากำหนดขีดเริ่ม ขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหัวอ่านที่เสียซึ่งแสดงเป็นจุดสามเหลี่ยมจะอยู่ใต้เส้นค่ากำหนดขีดเริ่มดังรูปที่ 4.21 ดังนั้นการวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มสามารถแยกแยะหัวอ่านที่ดีและเสียได้ 100% ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้งาน

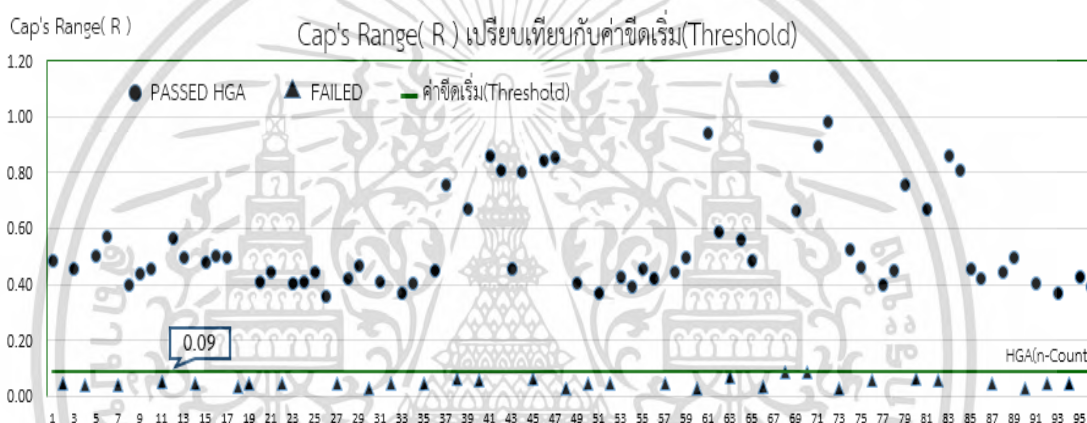


รูปที่ 4.21 การกระจายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุไฟฟ้าเมื่อให้ความร้อนจากเลเซอร์เปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.5.3 การวิเคราะห์ค่าพิสัยเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม

จากข้อมูลพบว่าหัวอ่าน/หัวเขียนที่ดีค่าความจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากทำให้ค่าพิสัยสูง แต่สำหรับหัวอ่าน/หัวเขียนที่เสียค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงน้อยมากทำให้ค่าพิสัยต่ำ ดังนั้นเมื่อนำค่าพิสัยของค่าความจุไฟฟ้าของหัวอ่าน/หัวเขียนทั้ง 96 หัวอ่าน/หัวเขียน มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มที่มีค่า 0.09 nF พบว่าค่าพิสัยของหัวอ่าน/หัวเขียนที่ดีที่แสดงด้วยจุดกลมจะอยู่เหนือเส้นค่ากำหนดขีดเริ่ม ส่วนค่าพิสัยของหัวอ่านที่เสียที่แสดงด้วยจุดสามเหลี่ยมจะอยู่ใต้เส้นค่ากำหนดขีดเริ่ม ดังรูปที่ 4.22 ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าพิสัยเปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มสามารถแยกแยะหัวอ่านที่ดีและเสียได้ 100% ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้งาน



รูปที่ 4.22 การกระจายของค่าพิสัยของค่าความจุไฟฟ้าเมื่อให้ความร้อนจากเลเซอร์เปรียบเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการคัดแยกหัวอ่าน/หัวเขียนที่ประกอบด้วยวงจรควบคุม ด้วยค่ากำหนดขีดเริ่มที่กำหนดจากค่าทางสถิติทั้ง 3 แบบ โดยอ้างอิงกับการใช้เครื่อง ePZT

HGA Status	Stroke Test ePZT Gen 3	Average	Range	Standard Deviation
No. of Good HGA	64	22	64	64
No. of Fail HGA	32	74	32	32
No. of HGA	96	96	96	96
Correct Identifying	96	54	96	96
% Test Accuracy	100	56.25	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม คัดแยกได้ ถูกต้อง 54 หัว จาก 96 หัว คิดเป็นร้อยละ 56.25 ในขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุไฟฟ้าและค่าพิสัยของค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มคัดแยกได้ถูกต้องทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 100

4.5.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่มให้ความถูกต้องต่ำ ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานในขบวนการผลิต การใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุไฟฟ้าของค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับค่ากำหนดขีดเริ่ม ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้งานในขบวนการผลิต

4.6 บทสรุป

เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์โดยใช้อุปกรณ์เลเซอร์ขนาด 5 วัตต์สามารถใช้งานในพื้นที่จำกัด, ให้ความร้อนในระยะเวลา 3 วินาที เพื่อให้ค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนไปมากกว่าร้อยละ 20 และสามารถควบคุมความร้อนได้เป็นอย่างดีด้วยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความร้อนแบบอินฟราเรด เพื่อวัดความร้อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในขณะที่ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า เครื่องดังกล่าวซึ่งสามารถใช้ได้กับแอสชูเอเตอร์ ทั้ง 4 แบบที่มีใช้ในปัจจุบัน และสามารถระบุตำแหน่งความเสียหายของหัวอ่านได้นี้ มีราคาประมาณ 1.5 ล้านบาทเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบอื่นๆ ซึ่งมีราคาสูงกว่า 3 ล้านบาท นอกจากนี้ยังมีขนาดของเครื่องที่เล็ก และใช้เวลาในการทดสอบต่ำกว่า 5 วินาทีต่อหัวอ่าน/หัวเขียน ดูแลรักษาและใช้งานง่าย เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อนจากเลเซอร์ต้นแบบได้ผ่านการทดสอบเสถียรภาพและคุณภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานจริงในขบวนการผลิต

บทที่ 5

บทสรุปและการพัฒนาในอนาคต

5.1 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนต้นแบบ

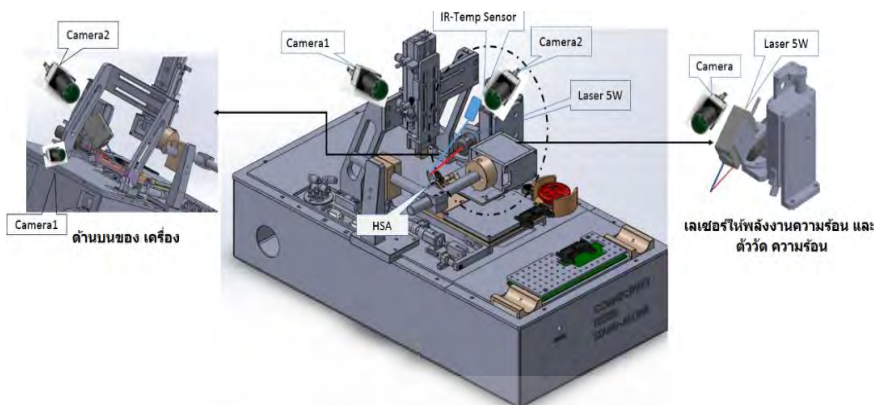
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและผลการทดสอบต้นแบบเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าร่วมกับการให้ความร้อนจากเลเซอร์ ซึ่งสามารถทดสอบและแยกแยะความผิดปกติเกี่ยวกับการประกอบวงจรควบคุมไมโครแอกชูเอเตอร์บนหัวอ่าน/หัวเขียนได้เป็นอย่างดี พร้อมระบุตำแหน่งของหัวอ่าน/หัวเขียนที่เสียหาย โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า ขณะให้ความร้อนจากเลเซอร์ เครื่องทดสอบนี้ไม่เพียงแต่สามารถทดสอบคุณภาพในการประกอบหัวอ่านเท่านั้น แต่มีข้อดีอีกหลายประการ เช่น สามารถทดสอบแอกชูเอเตอร์ทุกๆแบบทั้งแบบมีลิแอกชูเอเตอร์และไมโครแอกชูเอเตอร์ทั้ง 4 แบบที่มีในปัจจุบัน, ลดความเสี่ยงในการทำลายตัวงานเนื่องจากการทดสอบไม่สัมผัสกับหัวอ่านโดยตรง ราคาถูกใช้พื้นที่ในการทำงานน้อย ทำงานได้รวดเร็วต่ำกว่า 5 วินาทีต่อหัว และสามารถใช้ในขบวนการประกอบตั้งแต่ต้นเพื่อลดขั้นตอนการทำงาน เมื่อเทียบกับเครื่อง ePZT และเครื่อง DET

5.2 การพัฒนาในอนาคต

แม้ว่าเครื่องทดสอบต้นแบบสามารถทดสอบความผิดปกติของการประกอบหัวอ่านได้ดี แต่ในการใช้งานจริงเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ยังต้องมีการพัฒนาเครื่องทดสอบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นแนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบในอนาคต มี 2 ส่วน ได้แก่

5.2.1 การพัฒนาด้านกลไกการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เลเซอร์และตัววัดความร้อน

เครื่องทดสอบยังมีส่วนที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นได้ เช่นการพัฒนาให้เครื่องทดสอบทำงานแบบอัตโนมัติ, การให้ความร้อนแบบตรงจุด ตลอดจนการปรับตำแหน่งของเลเซอร์ โดยทำงานแบบอัตโนมัติร่วมกับการประมวลผลภาพ เพื่อลดอันตรายจากแสงเลเซอร์ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าพร้อมกับการให้พลังงานความร้อนจากเลเซอร์ พร้อมทำงานร่วมกับระบบการประมวลผลภาพเพื่อลดอันตรายจากแสงเลเซอร์

5.2.2 การพัฒนาเครื่องทดสอบเพื่อตรวจสอบความบกพร่องที่เกิดจากความผิดปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

การพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องทดสอบเพื่อการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดจากตัววัสดุเพียโซอิเล็กทริก เช่นวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่แตกหัก ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 วัสดุเพียโซอิเล็กทริกแตกหัก

ดังนั้นการพัฒนาจึงจำเป็นต้องดำเนินการต่อไป เพื่อตรวจจับความผิดปกติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้งานร่วมกับหัวอ่าน/หัวเขียน เพื่อใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านแบบละเอียดหรือไมโครแอกชูเอเตอร์ในเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในรุ่นต่อไป ไมโครแอกชูเอเตอร์รุ่นถัดไปจะเปลี่ยนตำแหน่งเพียโซอิเล็กทริกเข้าไปอยู่ที่สไลด์เตอร์ (slider fab) เพื่อให้การเคลื่อนที่ของหัวอ่านได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น เพื่อรองรับการเพิ่มขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นข้อมูลจะถูกอัดแน่นมากยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องทดสอบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] AnandTech. 2015. **HardDisk Drives with HAMR Technology Set to Arrive in 2018.**
[Online].Available:<https://www.anandtech.com/Show/9866/hard-disk-drives-with-hamr-technology-set-to-arrive-in-2018>.
- [2] Antonio Amau Vives. 2008. **Piezoelectric Transducers and Applications.**
2nd ED. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. Inc.
- [3] APC International Piezoelectric Ceramic: 2002. **Principles and Applications.**
APC International, Ltd.
- [4] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง และ ถาวร สุวรรณกิจ. “Piezoelectric Effect and Application”.
THE JOURNAL OF APPLIED SCIENCE; Vol.8, No 1, June 2009.
- [5] Jina Kim, Benjamin L. Grisso, Jeong K. Kim, Dong Sam Ha, and Daniel J. Inman.
“Electrical Modeling of Piezoelectric Ceramics for Analysis and Evaluation of Sensory Systems.”, **SAS 2008 – IEEE Sensors Applications Symposium Atlanta, GA**, February 12-14, 2008.
- [6] Witthaya Keopuang, Siwaphon Sonkham and Sanya Thamprasit, “**Microactuator Test Assembly Comprising a Spreader Pin for Engaging a Load Beam of a Actuator Arm.**”, US 8,322,235 B1, Dec.4, 2012.
- [7] S. Koganezawa, Y. Uematsu, and T. Yamada, “Dual stage actuator System for Magnetic disk drives using a shear mode piezoelectric microactuator.”.
IEEE Transactions On Magnetics. VOL. 35. NO 2. Mar. 1999.
- [8] Li-Yan Zhu, Chao-Hui Yang, Xiaofeng Zhang and Yen Fu, Cha. “**Method for testing a microactuator in a magnetic tester**”. U.S patent no.7085083B2,
August 2006.
- [9] Yang Jing, Jianbin Luo, Pengsheng Huang, and Li Qin. “U-Type Piezoelectric Thin-Film Microactuator for Hard Disk Drives.” **IEEE Transactions On Magnetics**, VOL. 41, NO. 11, Nov. 2005.
- [10] Toshiki Hirano and Henry Yang. “A hard disk drive tracking servo Microactuator driven by PZT stroke amplification mechanism.”. **The 13th IEEE International Conference on Solid-state Sensors, Actuators and Microsystems, Seoul, Korea**, June 5-9, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Koganezawa S., Uematsu Y., and Yamada T. “Dual stage actuator system for magnetic disk drives using a shear mode piezoelectric microactuator.” **IEEE Transactions on Magnetics**. Vol. 35, no 2, Mar. 1999.
- [12] Masaru Inoue, Osamu Okawara, and Hideki Fuchino. “**Processing Device for Piezoelectric Actuator and Processing Method for Piezoelectric Actuator.**” U.S patent No. 2010/0264934A1, Oct 2010.
- [13] Yung-Ping Yeh, Marty McCaslin, and C.-P. Roger Ku. “PZT crack detection in suspension-based dual stage actuator.” **IEEE Transactions on Magnetics**, Vol. 36, no. 5, Sep. 2000.
- [14] Jeffrey E. Thomsen. “**Method for detecting piezoelectric element failure in Head suspension.**” U.S patent no. 6870377B2, Mar. 2005.
- [15] Zuo-Guang Ye. 2008. **Handbook of dielectric, piezoelectric and ferroelectric materials**. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- [16] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2553. **การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15 (ฉบับปรับปรุง)**. เล่มที่2. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

Publication

ECTI-CON 2016.

Organized By **Technical Sponsors**

ECTI Association **IEEE** THAILAND SECTION

Platinum Sponsors **Gold Sponsors**

TCEB THAILAND COMMISSION & EXHIBITION BUREAU **PEA** **AD**

Silver Sponsors

iRCT **Multi-Contact** **MC** **GISTDA**

ABB **TDS** **Marigold** Technology (Thailand) Co., Ltd. **STABLI GROUP**

H.V.T. SUPPLY CO., LTD. **ThaiEasyElec** **THAICOM** **Education**

P.M.K. GROUP **CC** **WARS CO., LTD.**

WCK LED **dnt** **QTC** **Energy**

Final Program

ECTI-CON 2016

ChiangMai Thailand, June 28 - 1 July, 2016

13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer, Telecommunications and Information Technology

ECTI-CON 2016 ChiangMai, Thailand

Illustrated by Assoc.Prof. Wichit Chomaveewiroot

Rajamangala University of Technology Lanna
ChiangMai, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Piezoelectric Microactuator Testing Using Heat-Assisted Capacitance Measurement

Ekkachai Paikaw^{1,2}, Kasin Vichienchom² and Soodkhet Pojprapai³

¹Western Digital Thailand and ²Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

³School of Ceramic Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology, Thailand

Abstract—A technique for testing a piezoelectric microactuator of a read/write head of hard disk drive (HDD) is described. The proposed technique is based on the measurement of an equivalent capacitance of the PZT thin-film ceramic. It exploits the temperature dependent characteristic of the PZT. By carefully heating the PZT element while measuring its capacitance, the variation of its capacitance value can be observed. This profile is used to distinguish between a non-defected and a defected PZT actuator. The technique was implemented using a 5-watt green laser as the heating source. Experimental results show that when test with a HDD head stack assembly which is composed of multiple PZT actuators connected in parallel, it can identify a failed PZT actuator within seconds.

Keywords- PZT actuator; dual-state actuator.

I. INTRODUCTION

Now day, hard disk drive (HDD) is the most popular non-volatile, random-access mass data storage such as data center, personal storage server and public server. Over the past several years, hard disk drive capacity has been increased dramatically from gigabytes to terabytes. This is achieved through the increasing in both areal density and the number of disk per drive. A single disk can now store about 1 terabyte of data.

Increasing the areal density by reducing the size of data track width makes it more difficult to accurately place and maintain the read/write head on the data tracks. In order to overcome the problem, a dual-stage actuator (DSA) has been employed. As the first stage control, voice coil motor (VCM) is still used for track locating. For micro positioning control, the piezoelectric (PZT) microactuator is implemented. This second stage actuator is driven by signals generated from off-track-error signals [1-2]. Schematic of a hard disk drive with dual-stage actuator is illustrated in Fig.1. The second stage actuator is mounted on suspension adjacent to read/write head. Its control signals are connected via copper traces on a flexible printed circuit.

Performance of the read/write head and so the HDD is directly depending on the performance of the microactuator. One of the main causes of head failure is the failure of the microactuator and its control circuits. This can be either a physical damage of its PZT element or a connectivity problem of the control circuitry which arises during assembly.

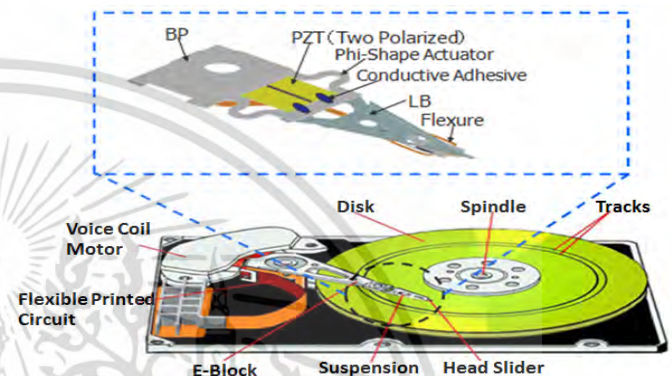


Fig1. Schematic of a hard disk drive with the dual stage actuator. The second stage control using piezoelectric actuator is mounted on suspension adjacent to read/write head.

process. Furthermore, in the newer designs, the PZT element of the microactuator is even smaller and placed closer to the read/write head than the older designs, thus it is more vulnerable to damage. In this paper the technique to detect and identify the failed microactuator based on capacitor measurement are described. It used a non-contact approach that suitable for implementation in testing process of the production line.

The paper is organized as follows. Section II describes structure of microactuator circuit, its failure and detection. Concept of the proposed detection technique is then explained in Section III. The experimental results are in Section IV. Finally it is summarized in Section V.

II. PZT-ACTUATOR FAILURE AND DETECTION

The microactuator is designed and operates based on the reverse piezoelectric effect. In its operation, the appropriate control signal is applied to the electrodes of PZT and produces some deformation of the PZT structure. This deformation causes a micro-scale displacement on the read/write head. During the read/write access, the off-track error is used as a feedback signal to form a closed-loop control system which

maintains read/write head at its correct position on the track while the disk is spinning. The degradation of PZT element due to its physical damage i.e. crack and hair-line crack results in not enough displacement created to keep read/write head on track and in some cases no displacement at all. In addition, connectivity problems of its control signal such as a broken wire, intermittent bonding/connecting also contributes to microactuator failure and so the head failure.

In current designs of HDD, there are multiple disks per drive. Each disk stores data on both sides. Therefore it requires two read/write heads per disk. Currently, the five disks are used thus it has as much as ten heads and ten microactuators stack up to be a head stack assembly (HSA) as shown in Fig.2. To minimize its occupying area, all actuators share the same control signal on the flexible printed circuit. As a result, all PZT elements of the circuit are connected in parallel. Since a PZT can be modeled as a capacitor, the equivalent circuit of micro-actuators of a HSA is a parallel circuit of capacitor as shown in Fig.3.

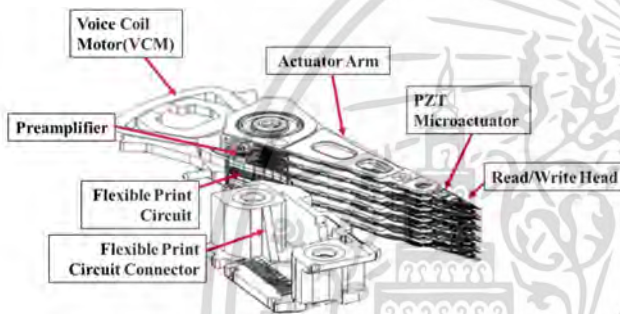


Fig. 2 Head Stack Assembly (HSA). Shown in this figure is composed of ten heads, thus ten PZT microactuators to operate with a stack of five disks



Fig. 3 Eight microactuators of a HSA connected in parallel are modeled as a parallel circuit of eight capacitors. Today up to ten heads are used, thus the circuit can have up to ten capacitors in parallel.

To detect the degradation of PZT microactuator, several techniques were developed. A simple approach such as the visual inspection is still used in assembly line but its lacking of ability to inspect the inner heads of HSA limits its usefulness. Another approach is the impedance measurement [1-4]. It is based on the concept that when PZT element degraded or damaged its equivalent capacitor is changed. Thus measure its capacitance and compare to the nominal value can be used to detect the condition of PZT. However because equivalent capacitor of each PZT of HSA are connected in parallel, the measurement result yields the sum of all capacitances of the HSA. Thus this technique can detect whether or not a HSA contains a degraded PZT but it cannot identify the head whose PZT is degraded. Other techniques which are effective for the

older design such as mechanical excitation [5-6] which based on the direct piezoelectric effect are no longer applicable for the future design which PZTs are smaller and more fragile.

The standard and also the most sophisticated technique is the displacement test performed by the dynamic electrical tester (DET). In this technique, PZT control signals are applied while the disks are spinning. Then the displacement profile of a corresponding head is measured and compared to its reference profile [7-8]. This method provides a very high accuracy and reliable test result. It can identify which head of the stack fails individually. The process however, is time-consuming and yields low throughput. In addition, it requires a state of the art test machine which is very expensive. Consequently, it is rather suitable to perform in the failure analysis procedure than in the production line.

Since all available techniques are either costly and time consuming or unable to identify individual head failure, in this research a new testing technique has been proposed. It not only detects PZT microactuator failure but also identify, by location any failed head of the head stack. Because it is simple and fast, the technique is suitable to implement in the tester for the production line.

III. THE PROPOSED MEASUREMENT TECHNIQUE

The proposed measurement technique is based on impedance measurement, to be more specific, measuring the equivalent capacitance of PZT element. As it was mentioned earlier, the capacitance value changes from its nominal value as the PZT degraded. According to the test results performed on a large number of samples, it has been found that the capacitance of a defected PZT that failed on the displacement test is lower than its nominal value. The types of defect include all cracks seen with naked eye and some hair-line cracks seen under microscope. For the failed microactuator due to connectivity (i.e. open circuit) its measured capacitance value is zero. The limitation of using this technique with HSA is that only the total capacitance value is measured. Therefore when the total capacitance is lower than the nominal it implies that there is at least one PZT element is defective. Unless the defected PZT can be identified by its head, the whole HSA will be destroyed. To improve its observability of this method, additional step, a technique that allow altering the capacitance value of each PZT individually during the measurement need to perform.

Consider the properties of the PZT element used in the actuator. It is a thin-film ceramic whose dielectric constant is temperature dependent. According to the study of its thermal stability in [9], the result shows that its dielectric constant increases as its temperature increases. Although it is non-linear, it exhibits a monotonic relationship. Since the electrostatic capacitance of the PZT is linear proportional to its dielectric constant, it can be concluded that its capacitance has a similar temperature dependent characteristic i.e. increase as the temperature increase. Based on this conclusion, a new technique for detecting a degraded PZT has been developed.

The concept for the proposed technique is as follows. Because capacitance of PZT has positive temperature dependence, one can observe the increasing and decreasing of its capacitance value as its temperature is raised up and fallen

down. This capacitance-temperature profile is then used to distinguish between a non-defected PZT and a defected PZT. This concept can be applied to the HSA testing. During the capacitor measurement of the HSA, if each PZT element is excited one at a time the total capacitor value will change in response to the change of the capacitance of each PZT. The excitation however, if it is not properly controlled, can introduce some adverse effects to the PZT. Piezoelectric property of the PZT can be altered or in worst case destroyed if its temperature is elevated to its Curie temperature. Therefore to be conservative, the highest temperature raised will be limited to a half of its Curie temperature.

To apply this concept to the testing in production line several aspects are considered. Firstly, what is the best way to raise and control the temperature of each PZT element in the HSA individually. Secondly, the testing time must be minimized to reduce cost and improve the productivity. Finally, the proposed technique, once fully developed and implemented as the tester, it has to be automatic and should be compatible with the existing tester. With these constrains, it is found that using laser heating is the most suitable approach to implement. Laser beam can be focused to a very fine spot and can deliver power in short duration of time. Therefore with a proper set up it can be beamed to each PZT element in HSA to excite each one of them sequentially while monitoring the change of the total capacitance.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

The PZT element used in this experiment is the same type as the 3203HD of the CTS Corporation. Its Curie temperature is 225°C [10]. Thus the maximum temperature for excitation was limited to 100 °C. A 5-watt green laser was used. Its ability to heat up PZT element was indirectly evaluated through the thermocouple sensor. The temperature profile is shown in Fig.4. The profile shows the temperature of the thermocouple as a function of time exposed to the laser beam with various bias currents applied to the laser. From the profile, heating with a larger bias current laser results in faster temperature rise and higher maximum temperature. Nevertheless, the highest temperature reached after 35 seconds was less than 120 °C. With a proper combination of the bias current and the heating time, the maximum temperature can be safely controlled to be less than 100 °C. Since the temperature of the PZT during heating cannot be measured directly, the profile of laser with 1A bias current which gave maximum temperature of 95 °C was used as the reference.

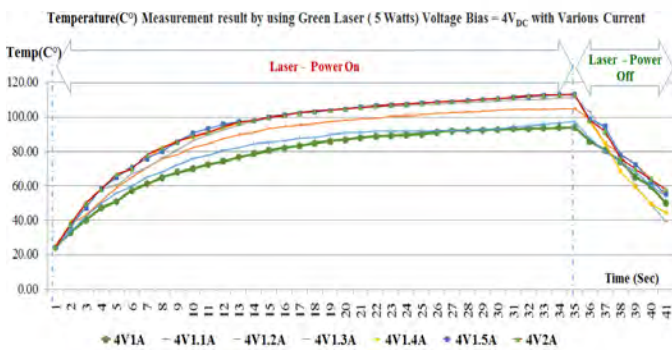


Fig.4 Temperature profile of the thermocouple heated by 5-watt green laser with various bias currents from 1-2 A. The 1A bias current (the bottom most trace) was selected.

In the following experiments, HSAs with two read/write heads were heated by the laser for 22 seconds then stopped. Their total capacitances were continuously measured every second. The nominal capacitance value of each PZT at room temperature was 0.6 nF. Thus, the total was 1.2 nF. Four conditions of the HSAs were tested.

The first test is to observe the response from the non-defected PZTs when raise its temperature. The result is plotted in Fig.5. In this set up it shows that within 5 second, the heat excitation can raise the total capacitance more than 30% from its nominal values. Thus the capacitance of a PZT was increased more than 60%. This is significant enough to distinguish its response from the typical fluctuation occurred in measurement. Note that the most importance information is the amount of change not the absolute value.

The second set up is to test the response from the failed actuator due to its connectivity problem i.e. the open circuit. In this experiment two HSAs whose control signals to one of their PZTs were cut were tested. Thus it created the HSAs with one good head and one failed head. The total capacitance was measured while heating with the same laser to the failed PZT. The test results are plotted in Fig.6. Clearly, the total capacitance remained constant at 0.6 nF which is the nominal value contributed from only a good head of each HSAs.

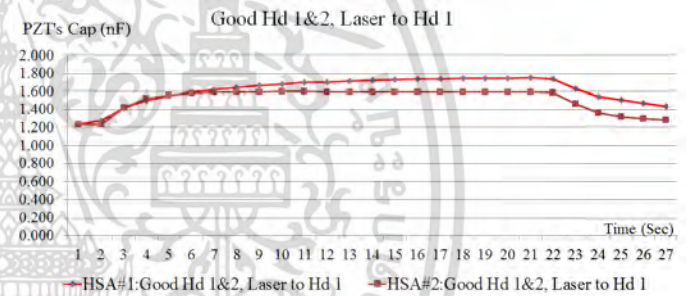


Fig.5 Plot of the total capacitance of two working HSAs. It was measured during 22 seconds of heating on one of its heads.

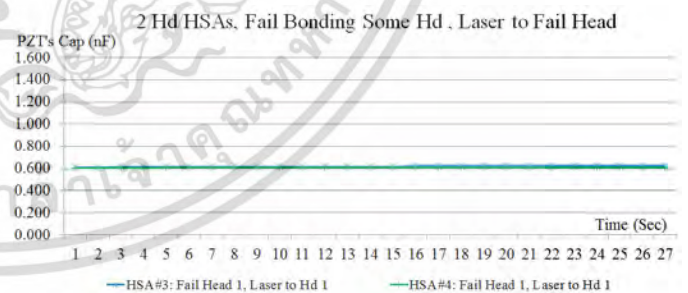


Fig.6. Plot of the total capacitance of the HSAs with a good PZT and a failed PZT during 22 seconds of heating on the failed PZT.

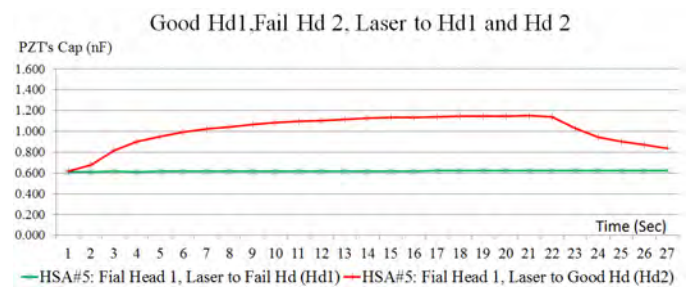


Fig.7. Plot of the total capacitance of an HSA when heated a good PZT (top trace) and a failed PZT (bottom trace) during 22 seconds of heating time.

The third set up is to identify a failed head from a HSA. In this test, a HSA with one good head and one failed head due to open circuit was tested. The results are shown in Fig. 7. First, the good PZT was heated. Total capacitance then increased more 50% from its first reading within 5 seconds. Next the PZT of the failed head was heated and the total capacitance was not changed.

The final test is to measure the total capacitor of a HSA with a failed PZT due to cracks on PZT. In this test the total capacitance of a working HSA were measured while heating one of its two heads. This result is shown as the top trace in Fig.8. Then one of its PZT was intentionally damaged by exerting force to create a crack. Its physical conditions before and after damaged are shown in Fig.9. The failed PZT was then heated by the laser. Its capacitance profile is plotted as the bottom trace in Fig.8. It can be seen that after the damaged the total capacitance reduced from 1.15 nF to be 0.75 nF. Thus the cracked PZT still contributed some small amount of capacitance to the total capacitance. Within 6 seconds after heating the failed PZT, the total capacitance was increased around 20% and much lower than its nominal value.

Note that, in all experiments the difference between the capacitance of a defected and a non-defected PZT grows steeply in few seconds after excited by laser. Therefore with a properly selected threshold, the difference can be detected and processed within a very short time.

All the results confirm that this technique is well-suited to PZT microactuator testing. It can identify the failed microactuator due to either the physical damages or the open circuit. Moreover, a procedure to test an HSA can be developed based on this technique. It is described as follows. Firstly, the total capacitance of the HSA is measured at room temperature. Then raise the temperature of the first PZT and measure the capacitance. After cooling down to room temperature, repeat it again with the second PZT and so on until finish the last one. If the HSA has a defected PZT, not only its total capacitance at room temperature is less than its nominal, but the change due

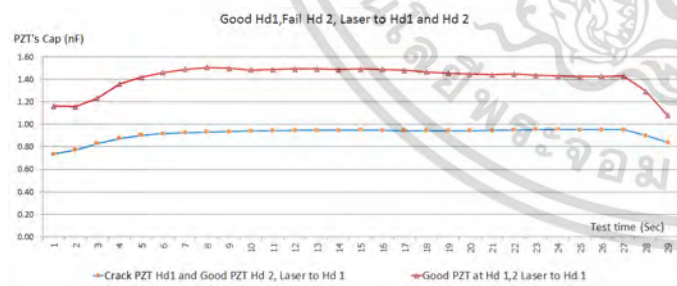


Fig.8. Plot of the total capacitance of the HSA with two good PZTs when excited one of them with laser for 27 seconds (top trace). The bottom trace shows the result after one of them was cracked and excited for 27 seconds.



Fig.9 PZT element in working condition (left) and after a crack was introduced (right).

to the defected PZT measured during the heat activation is noticeably lower than others. Therefore the failed microactuator can be identified.

V. CONCLUSION

The measurement technique to identify a failed PZT actuator of the HSA has been presented and tested. In this technique, the equivalent capacitance of the PZT was measured at room temperature and compared to the value measured at higher temperature. Since its capacitance has positive temperature dependence, when heated by the laser its capacitance were noticeably increased for a non-defected PZT. For a defected PZT due to its physical damage, its capacitance not only reduces at room temperature but it is less sensitive to temperature change as well. Therefore when compare both measurements; the result can use to identify the defected PZT, particularly, for the HSA which is composed of multiple PZTs connected in parallel.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by Western Digital Thailand. The authors would like to thank Witthaya Keopuang, HOD of HSA Product/Test Engineer for his support, Surapan Changpradit and Krist Niwatharoenchaikul for software and hardware modification and Sompong Songnam for his experiments.

REFERENCES

- [1] Hideki Kuwajima, Hirokazu Uchiyama, Yuko Ogawa, Hiroyuki Kita, and Kaoru Matsuoka, "Manufacturing process of piezoelectric Thin-film dual-stage actuator and Its reliability for HDD", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 38, No. 5, Sep 2002.
- [2] Eiji Soga, Shingo Tsuda and Kiyoshi Satoh "Apparatus and Method for Fixing and Checking Connection of Piezoelectric Sensor, Actuator and Disk unit", US 6,604,431 B1, Aug 12, 2003.
- [3] Benjamin Acatrinei "Piezoelectric interface analyzer" US 6,111,335, Aug. 29, 2000.
- [4] Yung-Ping Yeh, Marty McCaslin, and C.-P. Roger Ku, "PZT Crack Detection in Suspension-Based Dual Stage Actuator" *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 36, No. 5, Sep 2000.
- [5] Jeffrey E. Thomsen "Method for Detecting Piezoelectric Element Failure in Head Suspension" US 6,870,377 B2, Mar 22, 2005.
- [6] Witthaya Keopuang, Siwaphon Sonkham and Sanya Thamprasit, "Microactuator Test Assembly Comprising a Spreader Pin for Engaging a Load Beam of a Actuator Arm", US 8,322,235 B1, Dec.4,2012
- [7] Toshiki Hirano and Henry yang, "A Hard Disk Drive Tracking Servo Microactuator Driven by PZT with Stroke Amplification Mechanism" *IEEE Actuators and Microsystems*, June , 2005
- [8] S. Koganezawa, Y. Uematsu, and T. Yamada, "Dual-Stage Actuator System for Magnetic Disk Drives Using a Shear Mode Piezoelectric Microactuator", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 35. No 2. March 1999
- [9] Zhi Wu, Jing Zhou, Wen Chen, Jie Shen, Huimin Yang, Shisai Zhang, Yueli Liu, "Improvement in temperature dependence and dielectric tunability properties of PbZr0.52Ti0.48O3 thin films using Ba(Mg1/3Ta2/3)O3 buffer layer " *Applied Surface Science*, 3 October 2015.
- [10] Zuo-Guang Ye, *Handbook of dielectric, piezoelectric and ferroelectric materials synthesis, properties and applications*, Woodhead Publishing Cambridge, England, 2008.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเอกชัย ไม้แก้ว
วัน เดือน ปีเกิด	1 พฤษภาคม 2521 ที่จังหวัดอุบลราชธานี
ที่อยู่	80/47 หมู่บ้านภูมิสิริ ซอย.13 หมู่.2 ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160 โทร.0-8827-8879
ประวัติการศึกษา	2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) การทดสอบเครื่องทดสอบทางไฟฟ้า 2) การออกแบบและพัฒนา เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2545-2548	ตำแหน่งวิศวกรซ่อมบำรุงเครื่องทดสอบทางไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม
พ.ศ.2548-2549	ตำแหน่งวิศวกรอาวุโสฝ่ายซ่อมบำรุงและพัฒนาเครื่องทดสอบทางไฟฟ้าของหัวอ่าน บริษัท เวสเทริน ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
ปัจจุบัน	ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายวิศวกรซ่อมบำรุงและพัฒนาเครื่องทดสอบทางไฟฟ้า ของหัวอ่านและซ่อมบำรุงเครื่องมือในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ บริษัท เวสเทริน ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด - ที่ปรึกษาทางเทคนิค ด้านการออกแบบ, วิจัยและพัฒนาทางไฟฟ้าของบริษัทเอกชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้