

การศึกษาปฏิบัติการระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ของ
ระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบความจุสูง



นายปิยวัฒน์ คงสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2556

**A STUDY OF HEAD-DISK INTERACTION
IN HIGH DENSITY MAGNETIC
RECORDING SYSTEM**



Piyawat Kongsong

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2013

การศึกษาปฏิริยาระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ของ
ระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบความจุสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยระดับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ธีทัต อดิวิชัย)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ดร.ดำรงศักดิ์ ทองสมพร)

กรรมการ

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ปภากร พิทยชาล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปิจานงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปีวัฒน์ คงสง : การศึกษาปฏิกริยาระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบความจุสูง (A STUDY OF HEAD-DISK INTERACTION IN HIGH DENSITY MAGNETIC RECORDING SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริญผล, 88 หน้า.

ในปัจจุบันนี้ ฮาร์ดดิสก์ใดที่จะต้องได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น เพื่อจัดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ หนึ่งในวิธีการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวคือ การใช้เทคนิคการให้ความร้อนควบคู่การยื่นตัวเฉาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์เพื่อให้หัวอ่านเขียนสามารถบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ได้โดยมีขนาดพื้นที่บีตข้อมูลที่เล็กลง ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ มีขนาดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางของอากาศที่ไหลผ่านใต้สไลเดอร์ การกำหนดระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ที่เหมาะสม ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบความจุสูง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวเทร็คข้อมูลรวมไปถึงลักษณะการสัมผัสของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ โดยใช้เทคนิคการวัดด้วยตัวตรวจวัด อะคูสติกอิมิตชันและเลเซอร์ดอปเพลอร์ไวโบรมิเตอร์ ซึ่งได้ความสัมพันธ์ของการให้ความร้อนในการยื่นตัวหัวอ่านเขียน กับระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ที่เหมาะสม ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

PIYAWAT KONGSONG : A STUDY OF HEAD-DISK INTERACTION IN
HIGH DENSITY MAGNETIC RECORDING SYSTEM. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. JIRAPHOL SRISERTPOL, Ph.D., 88 PP.

SLIDER DYNAMICS/ACOUSTIC EMISSION/LASER DOPPLER VIBROMETER/
THERMAL POLE-TIP PROTRUSION

Currently, hard disk drive must be developed to have higher areal density. One way led to achieve that target is using the thermal pole-tip protrusion technique. Read/write head is protruded out of the slider closer to disk surface, to minimize data bit size that the writer can record to disk area. The light contact clearance between read/write head and disk surface at each slider position on disk are different, according to speed and impacted direction of air flow under the slider. Determination of the best clearance between read/write head and disk surface has an effect on read and write performance of high density magnetic recording system.

This research had studied movement characteristic of the reader/writer head in vertical direction and in off-track direction including head-disk contact, at each slider position on disk. Acoustic Emission and Laser Doppler Vibrometers are using in the measurement. The relation of thermal pole-tip protrusion and sweet spot clearance between head and disk at each slider position on disk is acquired from this study.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จึงขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานเหล่านี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.ดำรงศักดิ์ ทองสมพร ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการทำการวิจัย และตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้พิจารณาสนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้โครงการความร่วมมือในการพัฒนาบุคลากรทางด้านฮาร์ดแวร์ที่

คุณรุ่ง ศิวรัตน์ คุณนพพร จันทร์จำ คุณวินัย หวานบุรี คุณขวัญชัย ทิพย์ประเสริฐ และห้องทดลอง MDVT ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ อำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องข้อมูล ชิ้นงานและอุปกรณ์เครื่องมือ ที่จำเป็นในการดำเนินการทดลอง

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาซึ่งเป็นที่รักยิ่ง พี่น้องและพองญาติ ซึ่งเป็นกำลังใจสำคัญ ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยมาตลอดจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ปิยวัฒน์ กงสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	6
2.3 ระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก.....	11
2.4 การลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนเพื่อควบคุมการยื่นตัวเฉพาะ ส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์.....	20
2.5 การตรวจวัดการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์.....	22
2.6 การตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ขณะยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์.....	24

สารบัญ (ต่อ)

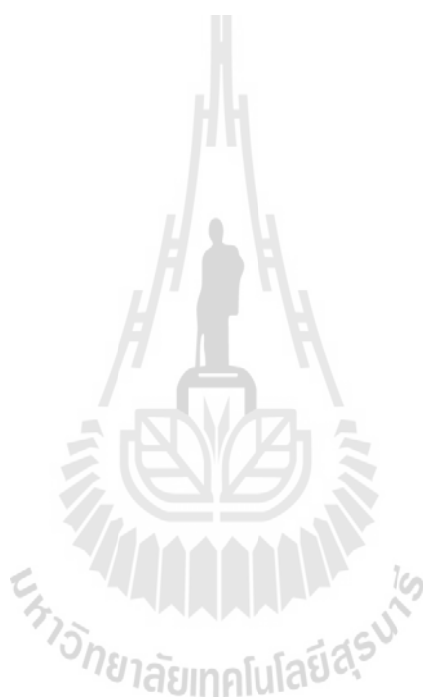
	หน้า
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
2.8 สรุป.....	35
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	36
3.1 กล่าวนำ.....	36
3.2 การออกแบบการทดลอง.....	37
3.3 การพัฒนาชุดควบคุมแทนหมุนแผ่นดิสก์และแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่ง.....	42
3.4 การพัฒนาชุดควบคุมของกระบวนการให้ความร้อน เพื่อควบคุมการขึ้นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์.....	44
3.5 การออกแบบและติดตั้งตัวตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ ขณะยกตัวลอยอยู่บนเนื้อแผ่นดิสก์.....	46
3.6 สรุป.....	52
4 ผลและอภิปรายผล.....	54
4.1 กล่าวนำ.....	54
4.2 การเกิดการสัมผัสหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์.....	54
4.3 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่นดิสก์.....	57
4.4 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับระนาบของแผ่นดิสก์ แบบตัดขวางกับแนวแทรกข้อมูล.....	60
4.5 ผลของการปรับเปลี่ยนระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ของหัวอ่านเขียน.....	64
4.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสไลเดอร์ที่กำลังยกตัวอยู่บนเนื้อแผ่นดิสก์.....	67
4.7 สรุป.....	76
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	78
รายการอ้างอิง.....	80

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	88



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงประสิทธิภาพของ LDV สมัยใหม่.....	33
3.1 แสดงตำแหน่งของสไลเดอร์ที่กำหนดไว้สำหรับการทดลองเก็บข้อมูล.....	40
4.1 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์โดยมีขนาดเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์.....	60
4.2 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์โดยมีขนาดเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์.....	64
4.3 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วเชิงเส้นที่ Radius ต่างๆ.....	69



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แสดงสไลเดอร์ที่กำลังยกตัวลอยอยู่เหนือแผ่นดิสก์ แล้วทำการยื่นเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนเพื่อลดระยะห่างกับแผ่นดิสก์..... 2
1.2	แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์..... 3
1.3	แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์ แบบตัดขวางกับแนวแทร็กข้อมูล..... 3
2.1	แสดงส่วนประกอบสำคัญของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์..... 7
2.2	แสดงการแบ่งชั้นของแผ่นดิสก์..... 10
2.3	แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์..... 11
2.4	แสดงหลักการพื้นฐานของการบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก..... 12
2.5	แสดงการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์แบบแนวนอนและแบบแนวตั้ง..... 13
2.6	แสดงแบบจำลองทั่วไปของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์..... 14
2.7	แสดงสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะ สำหรับการบันทึกข้อมูล..... 18
2.8	แสดงผลตอบสนองไคบิต สำหรับการบันทึกข้อมูล..... 19
2.9	แสดงรูปแบบการยื่นออกมาของหัวอ่านเขียนด้วยการควบคุมการสร้างความร้อน โดยตัวทำความร้อนได้รับกำลังไฟฟ้า 15,25 และ 35 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ..... 22
2.10	แสดงสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัดอะคูสติก อิมพัลส์ ในระหว่างค่อยๆเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน..... 24
2.11	แสดงตัวอย่างของ LDV สมัยใหม่ที่ประกอบด้วยชุดหัวยิงแสงเลเซอร์ และตัวประมวลผล..... 25
2.12	แสดงโครงสร้างของตัวกำเนิดแสงเลเซอร์..... 26
2.13	แสดงตัวอย่างของปรากฏการณ์คอปเพลอร์..... 27
2.14	แสดงมาตรวัดการแทรกสอด มิคเคลสัน ที่เป็น LDV แบบพื้นฐาน..... 29
2.15	แสดงมาตรวัดการแทรกสอดแบบเฮเทโรไดน์..... 31
2.16	แสดงมาตรวัดการแทรกสอดแบบโฮโมไดน์..... 32
3.1	แสดงขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย..... 36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 แสดงระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์.....	37
3.3 แสดงรัศมีของหัวอ่านเขียนจากศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ และมุมบิดตัวของสไลเดอร์ไปจากแนวของแทร็กข้อมูล.....	38
3.4 แสดงตำแหน่งของหัวอ่านเขียนบนแผ่นดิสก์.....	39
3.5 แสดงแท่นหมุนแผ่นดิสก์ของไดเวอร์.....	43
3.6 แสดงแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งที่มีตัวยึดจับชิ้นส่วน HGA.....	43
3.7 แสดงโครงสร้างในการทำงานของชุดแท่นหมุนแผ่นดิสก์ และชุดควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านเขียนบนแผ่นดิสก์.....	44
3.8 แสดงการเชื่อมต่อทางของชิ้นส่วน HGA ไปยังอุปกรณ์สนับสนุน.....	45
3.9 แสดงอุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้า.....	45
3.10 แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์.....	47
3.11 แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์ แบบตัดขวางแนวแทร็กข้อมูล.....	47
3.12 แสดงการติดตั้งตัวตรวจวัด AE.....	48
3.13 แสดงการติดตั้งตัวตรวจวัดLDV ด้านบนของสไลเดอร์.....	50
3.14 แสดงการกำหนดตำแหน่งของจุดเลเซอร์บนด้านหลังของสไลเดอร์.....	50
3.15 แสดงการติดตั้งตัวตรวจวัด LDV ด้านข้างของสไลเดอร์.....	51
3.16 แสดงการกำหนดตำแหน่งของจุดเลเซอร์ที่ด้านข้างของสไลเดอร์.....	51
3.17 แสดงโครงสร้างการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
4.1 แสดงค่าแรงดันกำลังสองเฉลี่ยจากตัวตรวจวัด AE ในขณะลระยะห่างระหว่างหัวอ่าน เขียนกับแผ่นดิสก์ ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ ของ HGA ตัวที่ 1.....	55
4.2 แสดงค่าแรงดันกำลังสองเฉลี่ยจากตัวตรวจวัด AE ในขณะลระยะห่างระหว่างหัวอ่าน เขียนกับแผ่นดิสก์ ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ ของ HGA ตัวที่ 2.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนแต่ละตัวได้รับ แล้วเกิดการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์.....	56
4.4 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่นดิสก์ ในขณะที่ระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ของ HGA ตัวที่ 1.....	57
4.5 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่นดิสก์ ในขณะที่ระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ของ HGA ตัวที่ 2.....	58
4.6 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนแต่ละ HGA ได้รับ แล้วเกิดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนที่มีขนาดเกินค่าที่กำหนด.....	59
4.7 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์ แบบตัดขวางกับแทรีกข้อมูลของ HGA ตัวที่ 1.....	61
4.8 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์ แบบตัดขวางกับแทรีกข้อมูลของ HGA ตัวที่ 2.....	62
4.9 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนแต่ละ HGA ได้รับ แล้วเกิดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนที่มีขนาดเกินค่าที่ยอมรับได้ ที่ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นดิสก์.....	63
4.10 แสดงช่องว่างระหว่างสไลเดอร์กับแผ่นดิสก์แคบลง เมื่อหัวอ่านเขียนถูกดันขึ้นออกจากผิวหน้าของสไลเดอร์.....	65
4.11 แสดงรูปแบบของหน้า ABS ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย.....	66
4.12 แสดงความดันของอากาศบริเวณต่างๆของ ABS ภายใต้อิสไลเดอร์.....	66
4.13 แสดงตำแหน่งของหัวอ่านเขียนบนแผ่นดิสก์.....	70
4.14 แสดงร้อยละของความเร็วเชิงเส้นของแผ่นดิสก์ที่ได้ตำแหน่งของสไลเดอร์ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามรัศมีของแผ่นดิสก์ที่ได้ตำแหน่งต่างๆของสไลเดอร์.....	71
4.15 แสดงขนาดของแรงยกตัวสไลเดอร์เหนือรัศมีต่างๆบนแผ่นดิสก์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วการหมุนแผ่นดิสก์ค่าต่างๆ.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 แสดงผลการเบี่ยงเบนของสไลเดอร์ ที่รัศมีต่างๆของตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์	73
4.17 แสดงมุมบิดตัวของสไลเดอร์ไปจากแนวการหมุนแผ่นดิสก์	74
4.18 แสดงระยะห่างในการยกตัวของสไลเดอร์เหนือแผ่นดิสก์ที่รัศมีต่างๆของตำแหน่งของสไลเดอร์	75



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AE	=	Acoustic Emission
LDV	=	Laser Doppler Vibrometer
HGA	=	Head Gimbal Assembly
HSA	=	Head Stack Assembly
ABS	=	Air Bearing Surface
PSA	=	Pitch Static Attitude
RSA	=	Roll Static Attitude
ID	=	Inner Diameter
MD	=	Middle Diameter
OD	=	Outer Diameter
MID	=	Middle-Inner Diameter
MOD	=	Middle-Outer Diameter
TDP	=	Touch-Down Power
SMR	=	Shingle Magnetic Recording
HAMR	=	Heat-Assisted Magnetic Recording
MAMR	=	Microwave-Assisted Magnetic Recording
BPMR	=	Bit-Patterned Magnetic Recording
PMR	=	Perpendicular Magnetic Recording

บทที่ 1

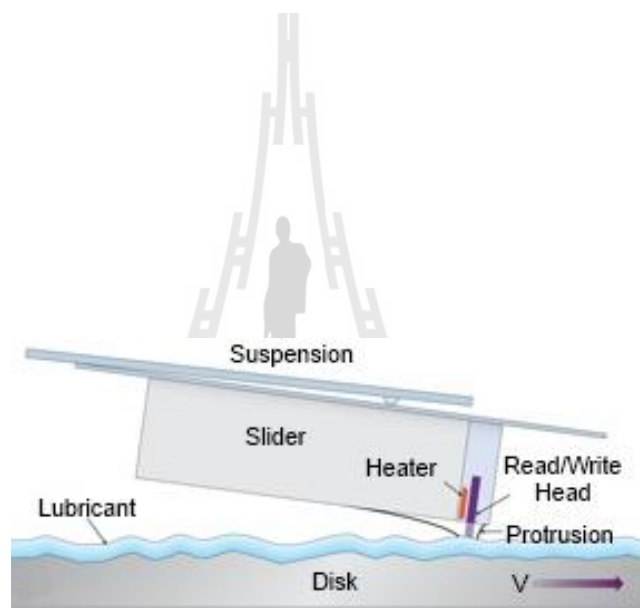
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันนี้ข้อมูลคอมพิวเตอร์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ไปพร้อมๆ กับการพัฒนาของเทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์และมัลติมีเดีย ที่มีการทำงานกับข้อมูลปริมาณมากขึ้นกว่าในอดีต ดังนั้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการจัดเก็บข้อมูลปริมาณมากมายเหล่านั้น จะต้องพัฒนาให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ มีขนาดความจุข้อมูลเพิ่มขึ้น โดยที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ยังมีขนาดเท่าเดิมการเพิ่มความสามารถของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลที่ถูกบันทึกลงไปบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ของแผ่นดิสก์นั้น ถูกตั้งให้เป็นเป้าหมายหลัก ที่มีความท้าทายมากในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

หลากหลายเทคโนโลยีได้รับการคิดค้นวิจัยขึ้นมาและกำลังพัฒนาไปใช้ในระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการทำให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีขนาดความจุข้อมูลเพิ่มขึ้น เช่น เทคโนโลยีSMR (Shingle Magnetic Recording), เทคโนโลยีHAMR (Heat-Assisted Magnetic Recording), เทคโนโลยีMAMR (Microwave-Assisted Magnetic Recording), เทคโนโลยีBPMR (Bit-Patterned Magnetic Recording) เป็นต้น แต่ก่อนที่เทคโนโลยีดังกล่าวเหล่านั้นจะได้รับการพัฒนาให้สามารถนำมาใช้จริงในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์วางจำหน่ายเทคโนโลยีของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในปัจจุบัน ซึ่งคือ เทคโนโลยีPMR (Perpendicular Magnetic Recording) ก็ต้องได้รับการพัฒนาเทคนิควิธีการ เพื่อเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลให้ได้ขนาดความจุข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เช่นกัน โดยหนึ่งในวิธีการคือลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลง เพื่อให้หัวอ่านเขียนสามารถบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ได้โดยมีขนาดพื้นที่สำหรับเก็บแต่ละบิตข้อมูลที่เล็กลง

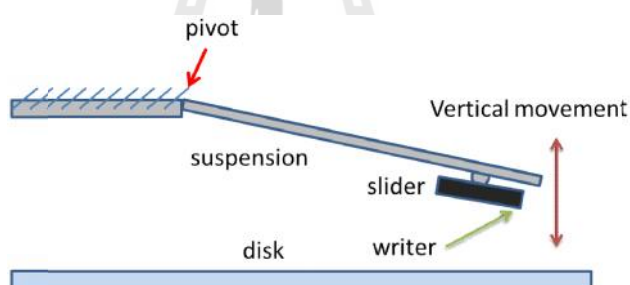
ในการเพิ่มความสามารถของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก ให้สามารถบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ได้มีขนาดความจุข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น ด้วยการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลงนั้น จะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงที่จะเกิดการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วนทั้งสองได้ นอกจากนี้ เมื่อช่องว่างระหว่างสไลเดอร์กับแผ่นดิสก์แคบลงนั้น อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอากาศผ่านได้สไลเดอร์ ทำให้เสถียรภาพการยกตัวลอยเหนือแผ่นดิสก์ของสไลเดอร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น เพื่อให้



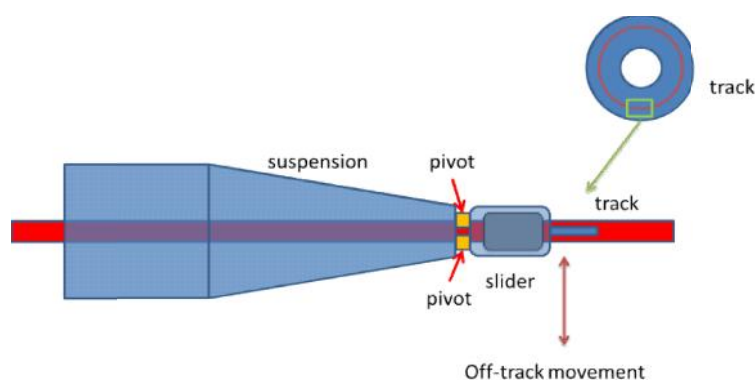
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การสัมผัสกับแผ่นดิสก์ได้ ส่วนอีกลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนที่น่าสนใจ คือ การเคลื่อนที่ในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแทร็กข้อมูล ดังรูปที่ 1.3 เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนที่อาจส่งผลให้การอ่านเขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์ มีความผิดพลาดสูงขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณในจังหวะที่หัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ออกห่างจากกึ่งกลางของแทร็กข้อมูลเป้าหมายไปยังแทร็กข้อมูลข้างเคียง

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาหาเครื่องมือและวิธีการที่จะนำมาใช้ตรวจวัดเก็บข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในขณะที่กำลังทำการลกระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลงในการอ่านเขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์ และเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ที่แตกต่างกัน ลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ซึ่งก็คือลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทางอ้อมจะถูกนำมาวิเคราะห์ สรุปผลเป็นข้อมูลป้อนกลับให้กับงานการออกแบบผิวหน้ารองลื่นด้วยอากาศ(Air Bearing Surface : ABS) ของสไลเดอร์, การออกแบบซัสเพนชันและการประกอบชิ้นส่วน HGA ให้มีลักษณะเป็นไปตามเป้าหมายได้



รูปที่ 1.2 แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์



รูปที่ 1.3 แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแทร็กข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางแนวแทรกข้อมูล ในขณะที่กำลังทำการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลง ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทดลองเก็บข้อมูลจากชิ้นส่วน HGA ของผลิตภัณฑ์ ซีเกท บาราคูดา (Seagate Barracuda) ที่ทำงานบนแผ่นดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว หมุนด้วยความเร็วรอบ 7200 รอบต่อนาที แล้วทำให้การยกตัวของสไลเดอร์ลอยเหนือแผ่นดิสก์ โดยมีระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ในสภาวะปกติประมาณ 15 นาโนเมตร

1.3.2 หัวอ่านเขียนมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ด้วยความจุแทรกข้อมูลเฉลี่ย 236,000 แทรกข้อมูลต่อนิ้ว

1.3.3 ทดลองเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ที่แตกต่างกัน จำนวน 5 ตำแหน่ง ที่ครอบคลุมพื้นที่แผ่นดิสก์

1.3.4 ทดลองเก็บข้อมูล โดยไม่ทำซ้ำ (Repeat) กับชิ้นส่วน HGA และแผ่นดิสก์เดิม แต่จะมีการทำใหม่ (Reproduce) กับชิ้นส่วน HGA และแผ่นดิสก์ จำนวนตั้งแต่ 10 - 20 ชิ้นส่วน

1.3.5 ใช้ตัวตรวจวัด อะคูสติกอิมมิสชัน (Acoustic Emission : AE) ในการตรวจจับการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์

1.3.6 ใช้ตัวตรวจวัด เลเซอร์ดอปเพลอร์ไวโบรมิเตอร์ (Laser Doppler Vibrometer : LDV) ในการตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ที่กำลังยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ ใน 2 ทิศทาง ได้แก่ ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแทรกข้อมูล

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1.1 ออกแบบการทดลองให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1.2 ทำการออกแบบติดตั้งแท่นหมุนแผ่นดิสก์และแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งและเขียนโปรแกรมเฉพาะสำหรับควบคุมการทำงาน

1.4.1.3 ทำการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ของการให้ความร้อนควบคุมการขึ้นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์และเขียนโปรแกรมเฉพาะสำหรับควบคุมการทำงาน

1.4.1.4 ทำการออกแบบติดตั้งตัวตรวจวัด AE และตัวตรวจวัด LDV รวมถึงอุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้า, อุปกรณ์วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า และอุปกรณ์เก็บบันทึกสัญญาณไฟฟ้าและเขียนโปรแกรมเฉพาะสำหรับควบคุมการทำงาน

1.4.1.5 ทำการทดลองเก็บข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้

1.4.1.6 นำผลการทดลองที่ได้มาแปรผล, วิเคราะห์ผล และสรุปผล

1.4.2 สถานที่ทำวิจัย คือห้องทดลอง MDVT บริษัทซีเทคเทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด เลขที่ 90 หมู่ 15 ถ.มิตรภาพ ต.สูงเนิน อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา 30170

1.4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

1.4.3.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.4.3.2 โปรแกรม LabVIEW 2011

1.4.3.3 อุปกรณ์เก็บบันทึกสัญญาณ รุ่น NI DAQ 7133

1.4.3.4 อุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้า รุ่น Agilent 33220A

1.4.3.5 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลรุ่น Agilent 34401A

1.4.3.6 แท่นหมุนแผ่นดิสก์และแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่ง

1.4.3.7 ตัวตรวจวัด AE รุ่น PAC UT-1000 และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ รุ่น PACAE2A/AE5A

1.4.3.8 ตัวตรวจวัด LDV รุ่น Polytec OFV-534 และตัวประมวลผล รุ่น Polytec OFV-5000

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เครื่องมือและวิธีการในการแสดงให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแทรีกข้อมูลรวมทั้งการเกิดการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ในขณะที่กำลังทำการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ลง โดยสไลเดอร์ยกตัวลอยอยู่นิ่งตามตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นดิสก์

1.5.2 สามารถคาดเดาแนวโน้มพฤติกรรมของหัวอ่านเขียนในชิ้นส่วน HGA ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เมื่อนำมาทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเดียวกันกับในงานวิจัยนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ก่อนที่จะทำการออกแบบการทดลองเก็บข้อมูล แปลผล วิเคราะห์ผลและสรุปผล ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแตร็กข้อมูลในขณะที่กำลังทำการลกระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ลงโดยสไลเดอร์กำลังยกตัวลอยอยู่เหนือตำแหน่งต่างๆบนแผ่นดิสก์นั้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจในองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เทคโนโลยีระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบตั้งฉากกับแผ่นดิสก์เทคนิคการสร้างความร้อนเพื่อควบคุมการยื่นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์วิธีการตรวจจับการสัมผัสกันของชิ้นส่วนด้วยการใช้ตัวตรวจวัดAEวิธีการตรวจวัดการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ของสไลเดอร์ที่กำลังยกตัวลอยอยู่เหนือแผ่นดิสก์และงานวิจัยอื่นๆที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.2 ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ หรือที่อาจได้ยินในชื่ออื่นๆ ได้แก่ ฮาร์ดดิสก์ ฮาร์ดไครฟ์ ฟิกซ์ไครฟ์ เป็นต้น เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลดิจิทัลของคอมพิวเตอร์ที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้แม้ในกรณีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงให้ก็ตามข้อมูลดิจิทัลแต่ละบิตจะถูกเก็บบันทึกอยู่ในรูปแบบขั้วแม่เหล็กบนพื้นที่บริเวณหนึ่งของพื้นผิวแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กบิตข้อมูลขั้วแม่เหล็กจะถูกเก็บบันทึกเรียงต่อกันบนแผ่นดิสก์ที่กำลังหมุนอยู่ คอมพิวเตอร์สามารถอ่านข้อมูลจากแผ่นดิสก์มาใช้ในการทำงาน หรือมีการบันทึกข้อมูลทับลงไปใหม่บนแผ่นดิสก์เป็นเช่นนี้ตลอดอายุการใช้งานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

2.2.1 ประวัติและความเป็นมาของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เริ่มนำมาเผยแพร่ในทางการค้าตั้งแต่ปีค.ศ. 1956 โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกที่ใช้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีหัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ได้ คือ IBM 305 RAMAC ซึ่งใช้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่น IBM Model 350 เป็นระยะเวลาหลายปีที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีขนาดใหญ่ อุปกรณ์มีน้ำหนักมากและการใช้กำลังไฟฟ้าที่มากเกินไป จึงเหมาะสมกับการใช้ในสำนักงานที่มีขนาดใหญ่มากกว่าสำนักงานที่มีขนาดเล็กหรือตามบ้านเรือน ก่อนช่วงต้นปี 1980 ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีแผ่นดิสก์ขนาด 8



Spindle

Slider (Head)

Platter (Disk)



Actuator (Voice coil)

Actuator arm

Suspension

ลอยเหนือแผ่นดิสก์ โดยอาศัยแรงที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านใต้ตัวสไลเดอร์เอง อากาศที่ไหลผ่านสไลเดอร์จะเกิดจากการหมุนแผ่นดิสก์ด้วยความเร็วค่าหนึ่งที่ผิวหน้าด้านควบคุมการยกตัวของสไลเดอร์สามารถทำงานได้ โครงสร้างของหัวอ่านเขียนและสไลเดอร์ เป็นสารกึ่งตัวนำและใช้กระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตไมโครโปรเซสเซอร์ มีราคาแพง เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กและมีความซับซ้อนมาก ต้องใช้เทคโนโลยีและความละเอียดในการผลิตสูง เพราะในขณะที่หัวอ่านเขียนทำการอ่านเขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์นั้น สไลเดอร์จะยกตัวให้ลอยอยู่เหนือแผ่นดิสก์โดยมีระยะห่างระหว่างกันในระดับนาโนเมตรเท่านั้น ความสูงในการยกตัวลอยอยู่เหนือพื้นผิวแผ่นดิสก์ของสไลเดอร์ จะถูกกำหนดโดยการออกแบบการเซาะร่องบริเวณพื้นผิวของสไลเดอร์ในด้านที่หันเข้าหาแผ่นดิสก์ ให้รูปทรงต่างๆหรือเรียกว่าพื้นผิวน้ำร่องลื่นด้วยอากาศ(ABS)ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากแผ่นฟิล์มบางๆทำให้เกิดแรงดันของอากาศในการยกตัวสไลเดอร์ออกจากแผ่นดิสก์เป็นระยะที่กำหนด ทำให้ไม่มีค่าความเสียดทานระหว่างพื้นผิว 2 พื้นผิวที่ทำงานร่วมกัน โดยพื้นผิวทั้งสองไม่สัมผัสกัน

การอ่านเขียนข้อมูลของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ เกิดขึ้นเมื่อตัวควบคุมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ให้มีการอ่านเขียนข้อมูล โดยในการเขียนข้อมูลนั้นตัวควบคุมจะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวดหัวเขียน ทำให้เกิดเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชั่วคราวขึ้น ไปเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กที่ฉาบไว้บนผิวแผ่นดิสก์ให้มีการจัดเรียงทิศทางขั้วแม่เหล็กไปตามรูปแบบของข้อมูลที่ต้องการบันทึกส่วนการอ่านข้อมูลนั้น จะต้องทำให้หัวอ่านอยู่ในสถานะไม่มีกระแสไฟฟ้าก่อน แล้วอ่านค่ากระแสไฟฟ้าอ่อนๆที่เกิดขึ้นที่ขดลวดหัวอ่านซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากชั้นสารแม่เหล็กบนแผ่นดิสก์ตรงพื้นที่ใต้หัวอ่าน ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จะถูกขยายและแปรรหัสไปเป็นข้อมูลดิจิทัล ในการนำไปใช้งานของคอมพิวเตอร์ต่อไปโดยปกติ จำนวนของหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวหนึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนของแผ่นดิสก์ตามที่ได้ออกแบบแต่ละผลิตภัณฑ์ไว้ โดยหนึ่งด้านของแผ่นดิสก์จะมีหัวอ่าน/เขียนจำนวน 1 ตัว เพื่ออ่านเขียนข้อมูลบนชั้นสารแม่เหล็กด้านนั้นๆของแผ่นดิสก์

2.2.2.2 ชัสปั่นชั้น

เป็นชิ้นส่วนที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีลักษณะเป็นแผ่นให้สไลเดอร์มายึดติดประกอบเป็นชิ้นเดียวกัน เรียกว่าชิ้นส่วนประกอบหัวอ่านเขียน (HGA) ชัสปั่นชั้นจะถูกออกแบบมาให้เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นสปริง ในการกดสไลเดอร์เข้าหาแผ่นดิสก์ ชดเชยการยกตัวลอยเหนือแผ่นดิสก์ของสไลเดอร์ เพื่อให้ได้ระยะห่างที่เหมาะสมในการอ่านเขียนข้อมูลของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ชัสปั่นชั้นจะมีจุดหมุนอิสระยกตัวหมุนขึ้นมา เรียกว่า คิมเปิด

(Dimple) เพื่อให้สไลเดอร์สามารถทำมุมรอบแกนพิทช์ (Pitch) และแกนโรลล์ (Roll) ในการยกตัวลอยเหนือแผ่นดิสก์

2.2.2.3 แขนจับเคลื่อนหัวอ่านเขียน

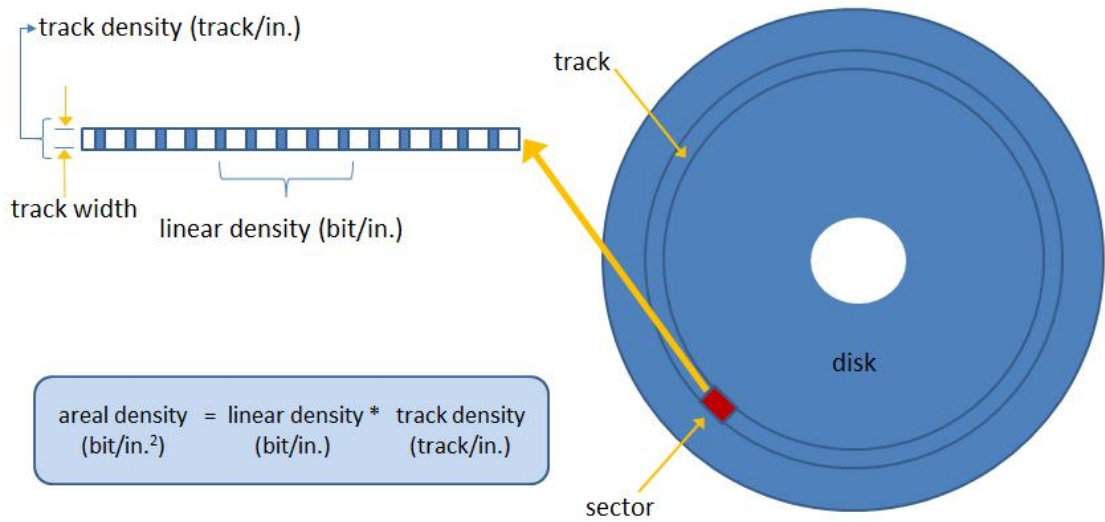
เป็นส่วนประกอบที่เป็นแกนยึดติดให้กับชิ้นส่วน HGA แต่ละตัว แล้วทำงานร่วมกันกับชุดขับเคลื่อน ในการเลื่อนตำแหน่งของหัวอ่านเขียนไปยังตำแหน่งต่างๆบนแผ่นดิสก์ในการอ่านเขียนข้อมูล ณ ตำแหน่งนั้นๆ โดยมีตัวควบคุมทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ แล้วเลื่อนหัวอ่านเขียนไปยังตำแหน่งที่กำหนด เพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูล ในฮาร์ดดิสก์รุ่นแรกๆ ได้ใช้มอเตอร์แบบสเตปเปอร์เป็นชุดขับเคลื่อน แต่ต่อมาได้ถูกแทนที่ด้วยวอยซ์คอยล์ที่สามารถทำงานได้เร็วและแม่นยำกว่า

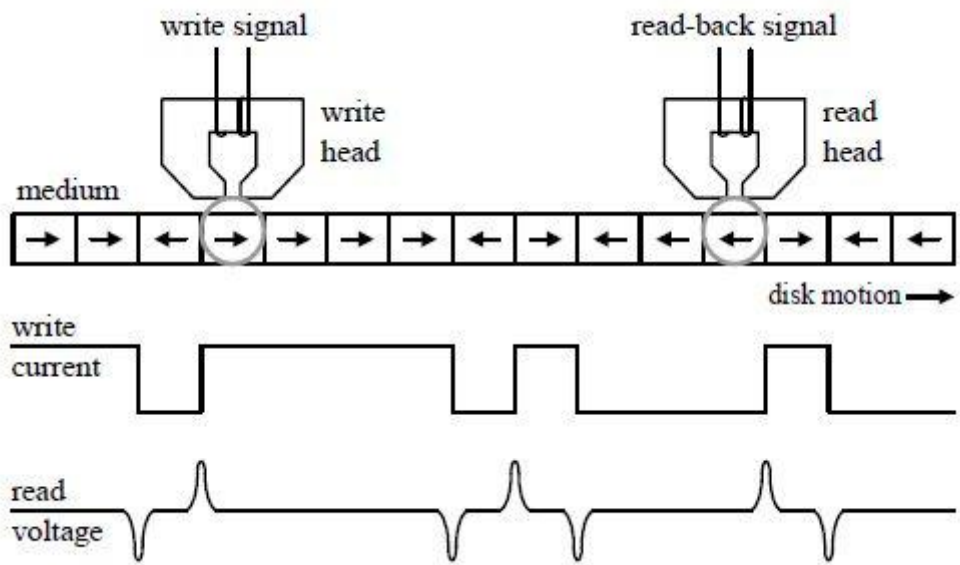
2.2.2.4 แผ่นดิสก์

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เนื่องจากเป็นพื้นที่สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูลไว้อย่างถาวร โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยง แผ่นดิสก์จะมีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.8 นิ้ว ถึง 5.25 นิ้ว แผ่นดิสก์จะถูกยึดติดเข้ากับแกนหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ ซึ่งอาจมียึดติดแผ่นดิสก์เข้ากับแกนหมุนซ้อนๆกันหลายแผ่นก็ได้ขึ้นอยู่กับขนาดความจุของผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกแบบไว้ โครงสร้างหลักของแผ่นดิสก์เป็นวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น อะลูมิเนียมอัลลอย หรือแก้วที่มีส่วนผสมของเซรามิก ซึ่งวัสดุอย่างหลังจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่า และสามารถออกแบบให้มีความบางได้มากกว่า พื้นผิวทั้งสองด้านของวัสดุที่นำมาเป็นโครงสร้างหลักของแผ่นดิสก์ จะถูกเคลือบด้วยสารแม่เหล็ก ซึ่งมีใช้โดยทั่วไปอยู่ 2 ประเภท คือ ไอออน ออกไซด์ (Iron Oxide) และทินฟิล์ม (Thin Film) แผ่นดิสก์ที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กประเภทแรกสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย เพราะมีสีน้ำตาล ใช้กันมากสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในช่วงแรกๆ เพราะเป็นสารแม่เหล็กที่มีราคาค่อนข้างถูกเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ค่อนข้างเปราะบางและเสียหายง่ายจากการสัมผัสกับหัวอ่านเขียน ประกอบกับสารแม่เหล็กประเภทนี้มีความหนาแน่นค่อนข้างน้อยจึงมีข้อจำกัดในด้านการขยายขนาดความจุของข้อมูล ส่วนสารแม่เหล็กประเภทหลังเป็นสารแม่เหล็กที่มีสีเงินวาวมีคุณสมบัติค่อนข้างทนทานต่อการเสียดสีของหัวอ่าน/เขียน อีกทั้งยังเป็นสารเคลือบผิวที่บางมากทำให้หัวอ่านเขียนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ดีกว่าจานแม่เหล็กที่ใช้สารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ยังมีราคาสูงอยู่ สารแม่เหล็กที่เคลือบผิวหน้าแผ่นดิสก์อยู่ จะถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กที่หัวอ่านเขียนสร้างขึ้นให้มีการจัดเรียงทิศทางของสนามแม่เหล็กตรงกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่หัวอ่านเขียนสร้างขึ้น ซึ่งจะสื่อถึงสถานะของข้อมูลดิจิทัลที่เป็นลอจิก 1 และลอจิก 0

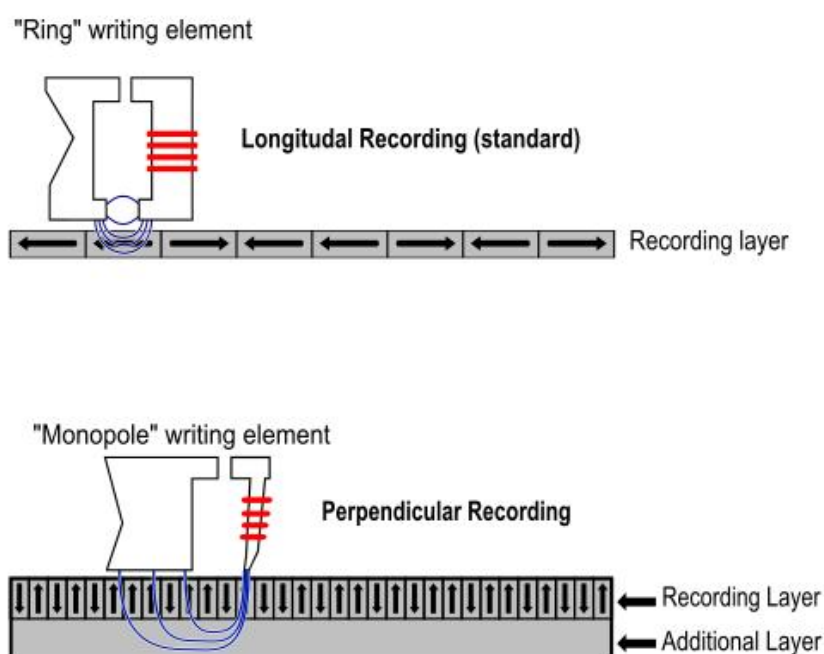
a) Lube
b) Protective Layer
c) Magnetic Layer
d) Underlayer
e) Texturing
f) NiP Plating
g) Substrate







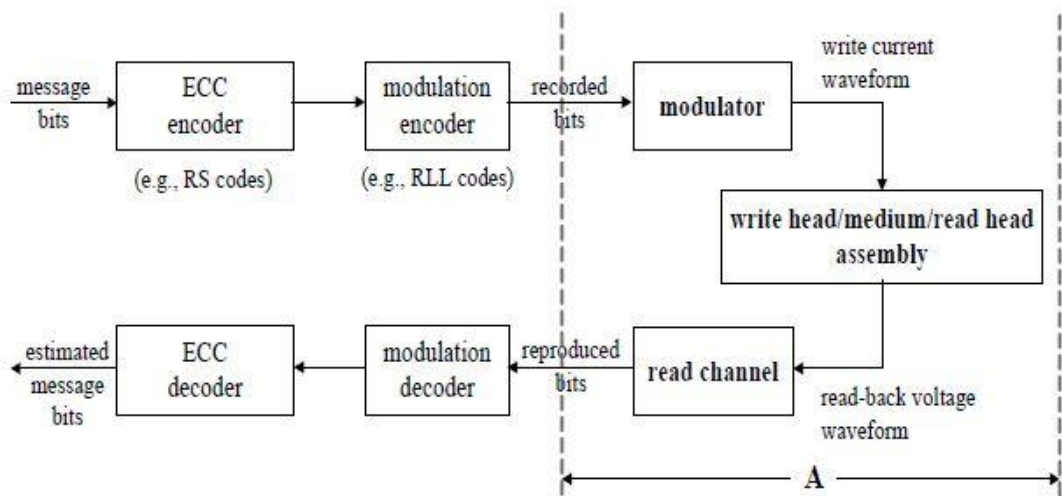
ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในอดีตมาเป็นการบันทึกข้อมูลแบบแนวตั้ง (Perpendicular Recording) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเมื่อไม่นานมานี้และใช้อย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน ระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบแนวตั้ง มีการเปลี่ยนการจัดเรียงตัวของสภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึก จากที่เป็นแบบขนานไปกับแผ่นดิสก์ มาเป็นแบบตั้งฉากกับแผ่นดิสก์แทน ทำให้ใช้พื้นที่บนสื่อบันทึกน้อยลงในการเก็บข้อมูล 1 บิตดังแสดงในรูปที่ 2.5 ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีความจุข้อมูลต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์แบบแนวนอนและแบบแนวตั้ง

2.3.2 แบบจำลองของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ สามารถที่จะจำลองเป็นแผนภาพทั่วไปได้ตามรูปที่ 2.6 เมื่อบิตข่าวสาร (Message Bits) จะถูกทำการเข้ารหัสโดย วงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (Error-Correction Code (ECC) Encoder) โดยที่รหัสแบบ Reed Solomon (RS Code) เป็นรหัสที่นิยมนำมาใช้ในการเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในปัจจุบัน จากนั้นข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วก็จะถูกทำการเข้ารหัสอีกครั้งหนึ่งด้วย วงจรมอดูเลชัน (Modulation Encoder) เพื่อทำหน้าที่ในการปรับคุณสมบัติของข้อมูลให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เช่น ทำให้ลำดับข้อมูลมีรูปแบบตามที่ต้องการ หรือทำให้ลำดับข้อมูลไม่มีส่วนประกอบ ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น รหัสที่นิยมใช้ในวงจรเข้ารหัสมอดูเลชัน คือ รหัส RLL (Run-Length Limited



to Zero Interleaved) เมื่อข้อมูลบิตลอจิก 1 หมายถึง มีการเปลี่ยนสถานะ และข้อมูลบิตลอจิก 0 หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

2.3.3 กระบวนการเขียนข้อมูล

ในระหว่างกระบวนการเขียนข้อมูล ข้อมูลบิตที่จะถูกเขียน จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยม ที่เรียกว่า กระแสไฟฟ้าเขียน โดยวงจรมอดูเลเตอร์ จากนั้นกระแสไฟฟ้าเขียนจะถูกจ่ายไปยังขดลวดของหัวเขียน ทำให้เกิดเป็นสนามแม่เหล็กสำหรับเขียนขึ้น และโดยทั่วไป ช่องว่างระหว่างสื่อบันทึกกับหัวเขียน จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ขนาดหรือความเข้มของสนามแม่เหล็กสำหรับเขียน มากกว่าค่าสภาพลบล้างแม่เหล็กของสื่อบันทึก เพื่อที่จะได้สามารถทำให้บริเวณพื้นที่นั้นของสื่อบันทึก มีสภาพความเป็นแม่เหล็กเป็นไปตามทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กเขียนที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนสถานะสภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึก สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กสำหรับเขียน (หรือทิศทางของกระแสไฟฟ้าเขียน) ให้สอดคล้องกับความต้องการเขียนข้อมูลบิตลอจิก 0 หรือ 1

ในทางปฏิบัติแล้ว ระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ จะใช้ การบันทึกแบบไบนารี นั่นคือ สภาพความเป็นแม่เหล็กที่อยู่ในสื่อบันทึกจะมีเพียง 2 ทิศทางเท่านั้น คือ ถ้าพิจารณาทิศทางของสนามแม่เหล็กจากหัวเหนือไปหัวใต้ การบันทึกข้อมูลแบบแวนอนจะมีทิศทางของความเป็นแม่เหล็กแบบขวาไปซ้ายหรือซ้ายไปขวา ในขณะที่การบันทึกข้อมูลแบบแวนดิง จะมีทิศทางของความเป็นแม่เหล็กแบบบนลงล่างหรือล่างขึ้นบน เท่านั้น กล่าวคือ ระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นั้น สามารถบันทึกข้อมูลลงบนสื่อบันทึกได้เพียง 2 ระดับเท่านั้น ต่างจากการบันทึกข้อมูลของดีวีดี ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้หลายระดับ

2.3.4 กระบวนการอ่านข้อมูล

ในระหว่างกระบวนการอ่านข้อมูล หัวอ่านจะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ณ ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนสถานะสภาพความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเป็นสัญญาณพัลส์แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) สำหรับบริเวณที่มีการเปลี่ยนสถานะเอกเทศ (Isolated Transition) หัวอ่านจะให้สัญญาณพัลส์แรงดันไฟฟ้า ที่เรียกว่า สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะ (Transition Pulse) $g(t)$ หรือ $-g(t)$ โดยจะขึ้นอยู่กับทิศทางของสภาพความเป็นแม่เหล็กในสื่อบันทึก

สำหรับระบบการบันทึกข้อมูลแบบแวนอนนั้น สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$g(t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{2t}{PW_{50}}\right)^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ PW_{50} คือ ความกว้างของสัญญาณพัลส์ $g(t)$ วัด ณ ตำแหน่งที่สัญญาณพัลส์มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุด

แต่สำหรับการบันทึกข้อมูลแบบแวนอนนั้น สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะจะมีรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$g(t) = \operatorname{erf}\left(\frac{2t\sqrt{\ln 2}}{PW_{50}}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ $\ln(\cdot)$ คือ ลอการิทึมธรรมชาติ

$\operatorname{erf}(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันข้อผิดพลาดซึ่งนิยามโดยสมการ

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (2.3)$$

$g'(t)$ คือ อนุพันธ์ของ $g(t)$ วัด ณ ตำแหน่งที่สัญญาณพัลส์มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุด

ในระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นั้น ความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลแบบนอร์มอลไลซ์ หรือ ND (Normalized Recording Density) หรือ ความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูล จะนิยามได้โดยสมการ

$$ND = \frac{PW_{50}}{T} \quad (2.4)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาของข้อมูลหนึ่งบิต

คาบเวลาของข้อมูลหนึ่งบิต หรือเรียกกันว่า บิตเซลล์ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกว่าบริเวณ PW_{50} สามารถที่จะจัดเก็บข้อมูลได้จำนวนกี่บิต ดังนั้น ถ้ากำหนดให้ T เป็นค่าคงที่ เมื่อค่า PW_{50} หรือ ND เพิ่มขึ้น ก็หมายความว่า ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ จะสามารถจุข้อมูลได้มากขึ้น

จากรูปที่ 2.7 จะแสดงผลตอบสนองการเปลี่ยนสถานะสำหรับการบันทึกข้อมูลแบบแวนอนและแบบแนวตั้ง ณ ระดับ ND ต่างๆ จะเห็นได้ว่า สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะของทั้ง 2 ระบบ จะครอบคลุมช่วงเวลาหลายๆ บิตเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อ ND มีค่าเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า การแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ หรือ ISI (Inter-Symbol Interference) ในสัญญาณอ่านกลับจะมีความรุนแรงมากขึ้น เมื่อ ND มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก โอกาสที่สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะที่อยู่ใกล้กัน จะมาซ้อนเหลื่อมกัน มีความเป็นไปได้สูง

แต่ในกรณีที่หัวอ่าน เคลื่อนที่มาถึงบริเวณที่มีตำแหน่งการเปลี่ยนสถานะแม่เหล็กติดกัน 2 ครั้ง สัญญาณพัลส์สุทธิที่ได้ จะเรียกว่า สัญญาณพัลส์ไคบิต (Di-Bit Pulse) หรือผลตอบสนองไคบิต (Di-Bit Response) ดังแสดงใน

รูปที่ 2.8 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$m(t) = g(t) - g(t - T) \quad (2.5)$$

ถ้าใช้การแปลงฟูเรียร์ที่ต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-time Fourier Transform) กับสัญญาณ $m(t)$ จะได้ว่า ผลตอบสนองเชิงความถี่ ของ $m(t)$ สำหรับระบบการบันทึกแบบแวนอน คือ

$$M(h) = \exp\{-\pi|\Omega|ND\}(1 - \exp\{-j2\pi\Omega\}) \quad (2.6)$$

เมื่อ $\exp(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันเลขชี้กำลัง

ส่วนผลตอบสนองเชิงความถี่ของ $m(t)$ สำหรับระบบบันทึกข้อมูลแบบแนวตั้ง คือ

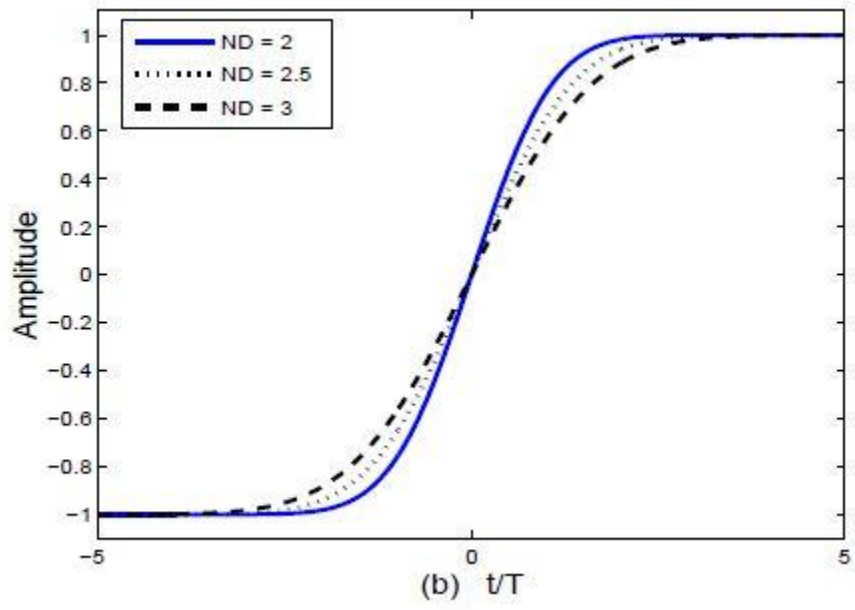
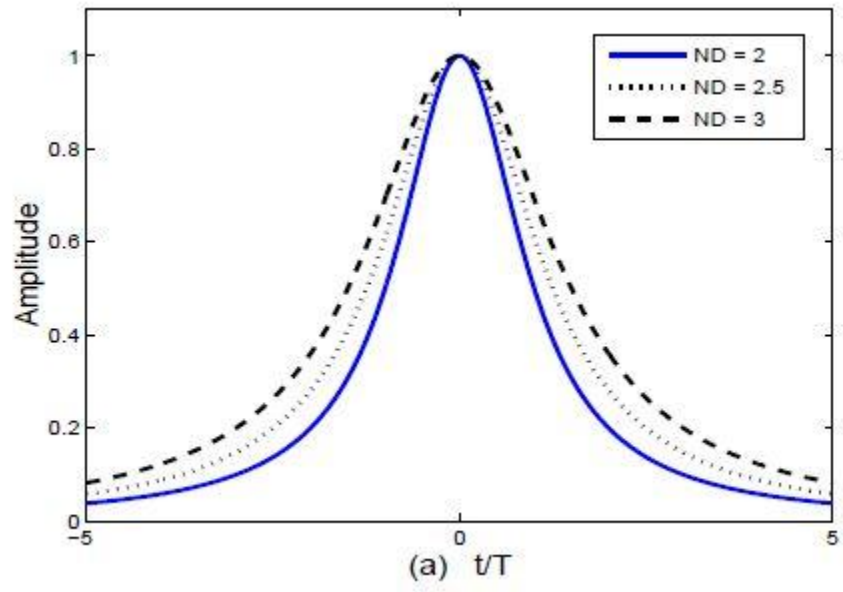
$$M(h) = \frac{T}{j\pi\Omega} \exp\left\{-\frac{\pi^2\Omega^2 ND^2}{\ln(16)}\right\} (1 - \exp\{-j2\pi\Omega\}) \quad (2.7)$$

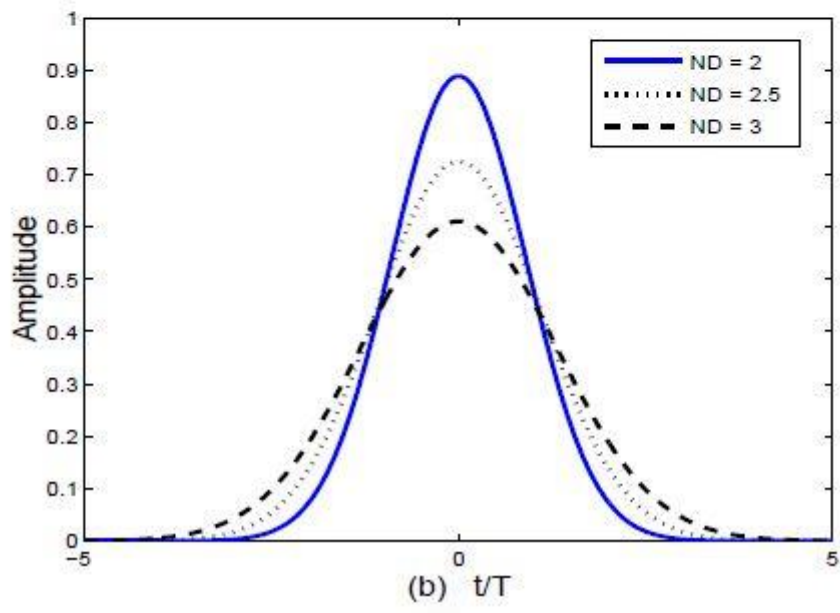
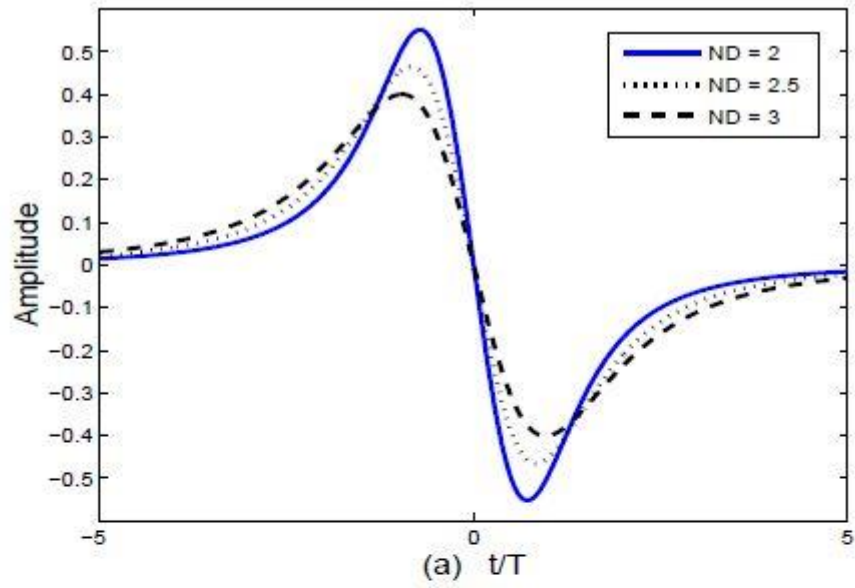
เมื่อ Ω คือ ความถี่แบบนอร์มอลไลซ์โดย

$$\Omega = fT \quad (2.8)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์

j คือ หน่วยจินตภาพของจำนวนเชิงซ้อน





2.4 การลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อน เพื่อควบคุมการยื่นตัวของหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์

2.4.1 การลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์

เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่จะเพิ่มความจุในการเก็บบันทึกข้อมูลของ ฮาร์ดดิสก์ใดๆ ก็จะต้องมีการลดระยะห่างของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลง แต่โดยทั่วไปแล้ว ข้อจำกัดในการลดระยะห่างดังกล่าว คือ ขนาดขอบเขตของความแปรผันและความเปลี่ยนแปลงของการควบคุมระยะห่างในการยกตัวของหัวอ่านเขียนลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ ที่มีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนที่ในกระบวนการผลิต, ความแปรผันของสิ่งแวดล้อมรอบข้าง และผลกระทบจากความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าเขียน ซึ่งทำให้เกิดการยื่นตัวที่มากขึ้น ซึ่งถ้าปราศจากการควบคุมระยะห่างระหว่างเฉพาะหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์นั้น จะเป็นการยากที่จะกำหนดระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อให้ประสิทธิภาพในระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบความจุสูงได้

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการกำหนดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ให้แคบที่สุดอย่างเหมาะสมในกระบวนการอ่านและเขียนข้อมูล สไลเดอร์ที่มีตัวขับเคลื่อนขนาดไมโครถูกนำมาใช้เพื่อปรับเปลี่ยนค่าระยะห่างตามที่ต้องการ หัวอ่านเขียนที่สามารถถูกกระตุ้นออกมาจากสไลเดอร์ได้นั้น สไลเดอร์จะถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ตัวขับเคลื่อนขนาดไมโครแบบยูนิมอร์ฟเพียร์โซอิเล็กทริก ระยะห่างของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์จะสามารถควบคุมได้โดยการทำให้เสียรูปแบบเพียร์โซอิเล็กทริก ของตัวขับเคลื่อน และจากลักษณะเฉพาะตัวในการยกตัวของสไลเดอร์จากการทำงานของผิวหน้าแอร์เบอร์ริง ตัวขับเคลื่อนขนาดไมโครนั้นจะถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการผลิตจากระบบซิลิคอน ไมโคร อิเล็กทรอนิกส์ (Silicon Micro-Electro-Mechanical systems หรือ MEMS) ในการปรับเปลี่ยนระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์นั้น แรงดันไฟฟ้าจะถูกจ่ายให้กับตัวขับเคลื่อนขนาดไมโคร อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ก็มีความยุ่งยากในการใช้งานเช่นกัน อย่างเช่น ตัวขับเคลื่อนต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าในการทำงาน เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเขียนข้อมูล หรือ ความยากในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนชนิดนี้ เนื่องจากการผสมผสานกันระหว่างการใช้เทคโนโลยีทินฟิล์ม และเทคโนโลยีซิลิคอน

2.4.2 เทคนิคการให้ความร้อนควบคุมการยื่นตัวของหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์

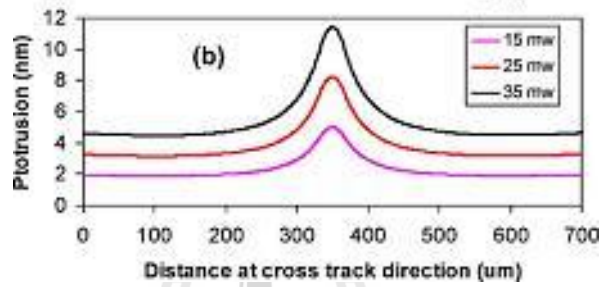
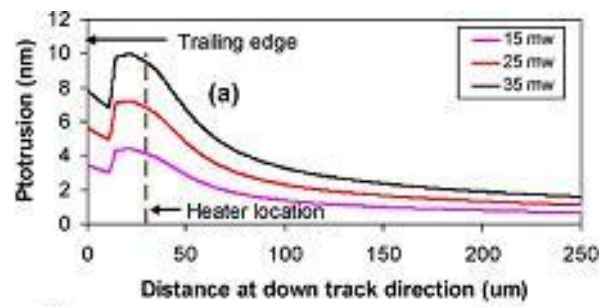
ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่ของวิธีการในการควบคุมระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ คือ ใช้การขยายตัวของวัสดุด้วยการให้ความร้อน โดยการติดตั้งตัวทำความร้อนไว้ใกล้กับหัวอ่านเขียน การยื่นตัวของหัวอ่านเขียนออกมาจากสไลเดอร์นั้น มีความซับซ้อนและประกอบด้วยปรากฏการณ์ทางกายภาพหลายๆอย่าง รวมไปถึงความเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า, การเหนี่ยวนำ

สนามแม่เหล็กไฟฟ้า, การนำความร้อนและการพาความร้อน และการสูญเสียรูปแบบยืดหยุ่นของของแข็ง ในความเป็นจริงแล้ว ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบริเวณที่ล้อมรอบหัวอ่านเขียน เมื่ออุณหภูมิที่ล้อมรอบมีการเปลี่ยนแปลง ระยะห่างของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย เนื่องจาก ในการยื่นตัวหัวอ่านเขียนออกมาอันเนื่องมาจากการควบคุมอุณหภูมิ (Temperature-Induced Head Protrusion, T-IHP) นั้น จะมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของอัตราการขยายตัวของวัสดุแต่ละชนิดของหัวอ่านเขียนเมื่อได้รับความร้อนค่าหนึ่งๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการโก่งตัวดันให้ส่วนหัวอ่านเขียนยื่นออกมาจากสภาวะปกติ แต่นอกจากนี้ ในกระบวนการเขียนข้อมูล กระแสไฟฟ้าสำหรับเขียนข้อมูล จะสร้างให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณล้อมรอบหัวอ่านเขียนเช่นกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการยื่นตัวของหัวอ่านเขียนอันเนื่องมาจากการเขียนข้อมูล (Write-Induced Head Protrusion, W-IHP)

S. Song et al. ได้นำเสนอแบบจำลองการส่งถ่ายความร้อน เพื่อที่จะบ่งชี้อาณาเขตของอุณหภูมิและการเปลี่ยนรูปของหัวอ่านเขียนที่ ABS ของสไลเดอร์ แบบจำลองถูกตรวจสอบด้วยการตรวจวัดด้วยเครื่องทดสอบกุกติก (Guzik) ผลของแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดที่ได้ ในแง่ของการยื่นตัวหัวอ่านเขียนและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นที่หัวอ่าน ผลตรวจพบว่า ฉนวนอันที่สองของหัวอ่านเขียนมีการยื่นตัวออกมามากที่สุด โดยไม่ได้รับกระทบใดจากปริมาณอากาศที่ไหลผ่านได้สไลเดอร์ซึ่งเกิดจากการหมุนแผ่นดิสก์ และยังพบอีกว่า การไหลไปกับชั้นสารหล่อลื่นที่มีความหนืดของ ABS ของสไลเดอร์ ให้ผลกระทบเพียงเล็กน้อยกับกระบวนการยื่นตัวหัวอ่านเขียนออกมา

W. D. Zhou et al. ได้อธิบายการทำงานของหัวอ่านเขียนที่มีความสามารถในการยื่นตัวออกมาด้วยการควบคุมการสร้างความร้อนไว้ว่าเป็นหัวอ่านเขียนที่ใช้เทคนิคการสร้างความร้อนเพื่อควบคุมการยื่นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์เพื่อให้ประสบความสำเร็จในการกำหนดระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้แคบลงมากแต่ยังมีเสถียรภาพของกระบวนการยกตัวลอยเหนือแผ่นดิสก์อยู่ ตัวทำความร้อนจะถูกฝังอยู่ข้างในสไลเดอร์บริเวณใกล้ๆ หัวอ่านเขียน เพื่อเป็นตัวทำให้เกิดการยื่นตัวเฉพาะจุดตรงบริเวณรอบๆ หัวอ่านเขียน ด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ตัวทำความร้อน ด้วยเหตุนี้ การยื่นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนด้วยการควบคุมการสร้างความร้อน จึงถูกนำไปใช้ในการลดระยะห่างในการอ่านเขียนข้อมูลของหัวอ่านเขียน

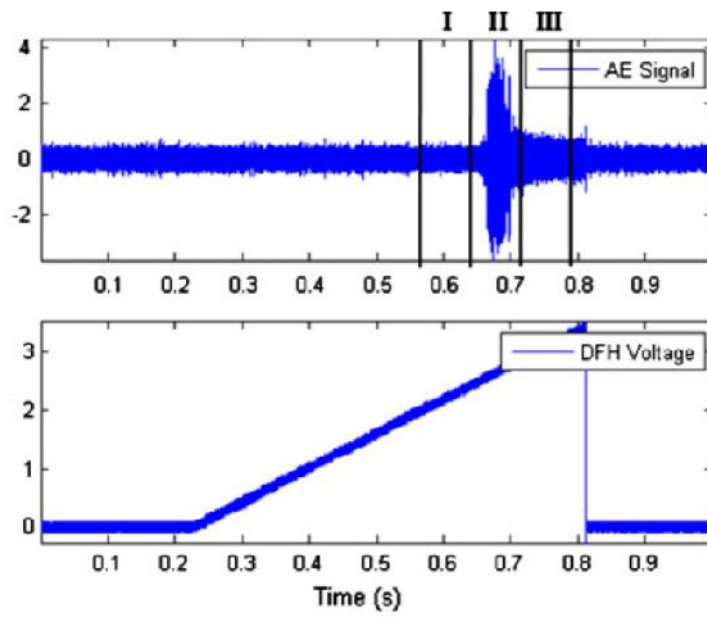
W. D. Zhou และคณะ ได้สร้างแบบจำลองสามมิติไฟไนต์อิลิเมนต์ของหัวอ่านเขียนแบบ TFC ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนประกอบหัวอ่านเขียน ชับสเตรต ขั้วแม่เหล็กบนและล่าง ขดลวดตัวเขียน และตัวทำความร้อน ใช้โปรแกรม Ansys ในการวิเคราะห์โครงสร้างอุณหภูมิเพื่อ



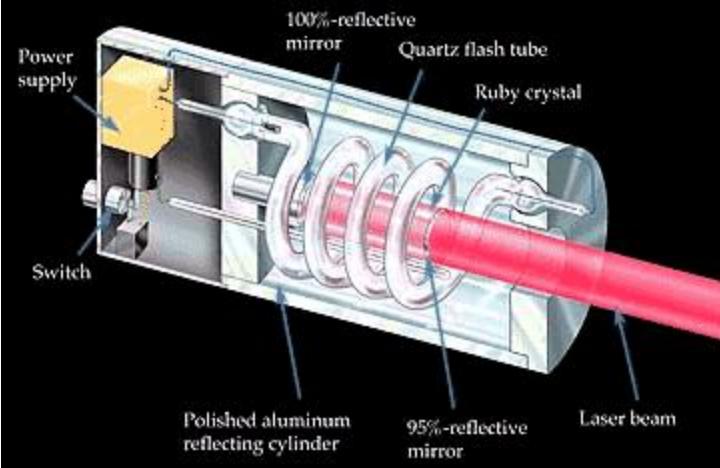
ตัวตรวจวัด AE แบบสนิทกับผิวแขนยึดจับ เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดี สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด AE จะถูกนำไปผ่านการขยายสัญญาณขนาด 40 เดซิเบลและผ่านการกรองสัญญาณความถี่ต่ำกว่า 600 กิโลเฮิร์ตและสัญญาณความถี่สูงกว่า 3 เมกะเฮิร์ตออก เพื่อที่จะพิจารณาเฉพาะความถี่เรโซแนนซ์ของตัวหัวอ่านเขียนซึ่งจะเริ่มตรวจพบที่ความถี่ประมาณ 1.2 เมกะเฮิร์ต

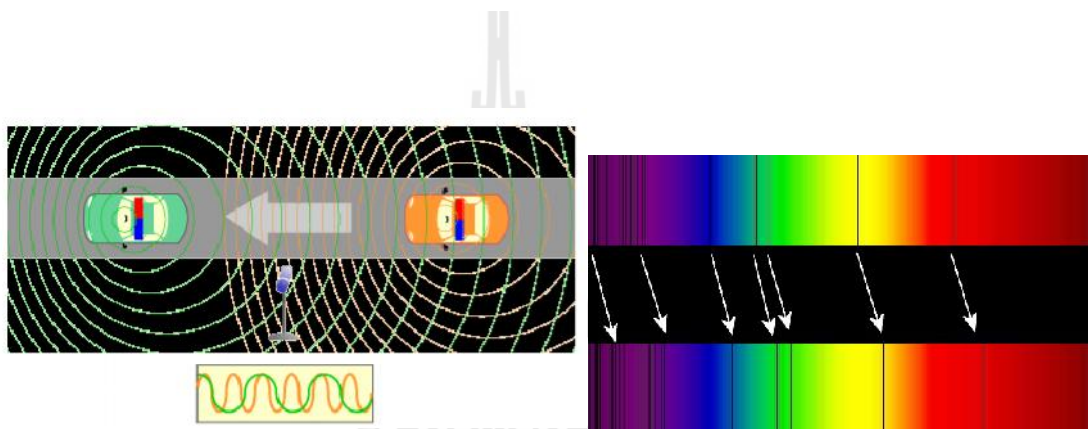
A. Khurshudov et al. ทำการทดลองโดยใช้ตัวตรวจวัด AE ตรวจจับการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ เมื่อมีการปรับลดแรงดันอากาศที่ไหลผ่าน ABS ของสไลเดอร์ได้ผลที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยนี้ คือ สัญญาณตอบสนองจากตัวตรวจวัด AE จะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งแสดงให้เห็นจุดเปลี่ยนจากการตรวจพบการสัมผัสข้างของหัวอ่านเขียนกับส่วนที่ยื่นแหลมขึ้นมาจากผิวดิสก์ ไปเป็นการตรวจพบการสัมผัสที่โดดเด่นขึ้น เมื่อหัวอ่านเขียนเริ่มที่จะถูกล็อกกับผิวแผ่นดิสก์ จากผลการทดสอบของ A. Khurshudov et al. ตัวตรวจวัด AE สามารถตรวจจับการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ได้ในสองลักษณะหรือสถานะ ที่แตกต่างกันชัดเจน คือ การสัมผัสแบบบางครั้งบางคราวและค่อยเป็นค่อยไปซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ไม่ได้มีปฏิริยากันบ่อยครั้ง และการสัมผัสจะเกิดขึ้นบนบางตำแหน่งของแผ่นดิสก์เท่านั้น และอีกลักษณะหนึ่งคือ การสัมผัสแบบโดดเด่น และทันทีทันใด ซึ่งจะเกิดเมื่อหัวอ่านเขียนมีการถูไปบนแผ่นดิสก์ ในขณะที่ยังบินอยู่ด้วยการรองรับจากอากาศใต้ผิวหน้าหัวอ่านเขียน งานวิจัยนี้จะใช้การพิจารณาสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE ตรงจุดที่มีการเปลี่ยนลักษณะการสัมผัสแบบบางครั้งบางคราวไปเป็นลักษณะการสัมผัสแบบโดดเด่น

จากการศึกษาของ Jianfeng Xu et al.(2011) ในการอธิบายลักษณะการเกิดการสัมผัสกันขนาดเบาของหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ เมื่อมีการทำกระบวนการควบคุมระดับการบินแบบพลวัตเป็นการทำการทดลองเพื่อศึกษา พลวัตของหัวอ่านเขียนชนิดที่มีการยื่นหัวอ่านเขียนออกมาด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งจะถูกรวบรวมด้วยตัวตรวจวัด AE เมื่อมีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าแบบฟันเลื่อยเข้าไปที่ตัวกระตุ้นการยื่นตัวออกมาของหัวอ่านเขียน ปฏิริการะหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์จะแสดงให้เห็นเมื่อแรงดันที่ใช้กระตุ้นหัวอ่านเขียนมีค่าสูงพอ ซึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 2.10 สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด AE จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อแรงดันที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนมีค่าสูงกว่าค่าระดับเทรชโฮลด์ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อยังเพิ่มค่าแรงดันที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนต่อไปเรื่อยๆ สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด AE จะตกลงมาอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับก่อนหน้านี้ จากผลการทดลอง สัญญาณจากตัวตรวจวัด AE แสดงให้เห็นสามช่วงของลักษณะสัญญาณอย่างชัดเจน คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่แรงดันที่จ่ายกระตุ้นหัวอ่านเขียนยังไม่แสดงผลกับพลวัตของหัวอ่านเขียน ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่แรงดันที่จ่ายกระตุ้นหัวอ่านเขียนมีค่าสูงกว่า threshold และช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่แรงดันที่จ่ายกระตุ้นหัวอ่านเขียนอิ่มตัว ไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อพลวัตของหัวอ่านเขียน









เมถี่คลื่นแสง(f')ที่

$$f' = f \left(\frac{c}{c \pm v} \right)$$

f

c

v

ส่วนสัญลักษณ์ \pm นั้นเป็นตัวบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ห่างออกไปจากต้นกำเนิดคลื่นแสงสัญลักษณ์นี้จะเป็นบวก และคลื่นแสงเลเซอร์ที่ตรวจวัดได้จะมีความถี่ต่ำลง แต่ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่เข้าหาต้นกำเนิดคลื่นแสงนั้น สัญลักษณ์นี้จะเป็นลบ และคลื่นแสงเลเซอร์ที่ตรวจวัดได้จะมีความถี่สูงขึ้น

ความเร็วของแสงจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ถูกตรวจวัด ดังนั้น สมการสามารถพัฒนาให้อยู่ในรูปของอนุกรมเทย์เลอร์ ซึ่งการเลื่อนของความถี่จะถูกแสดงในรูปความถี่ดอปเพลอร์ f_d ดังนี้

$$f' = f \left(\frac{c}{c \pm v} \right) \approx f \left(\frac{c \mp v}{c} \right) = f \left(1 \mp \frac{v}{c} \right) = f \pm f_d \quad (2.10)$$

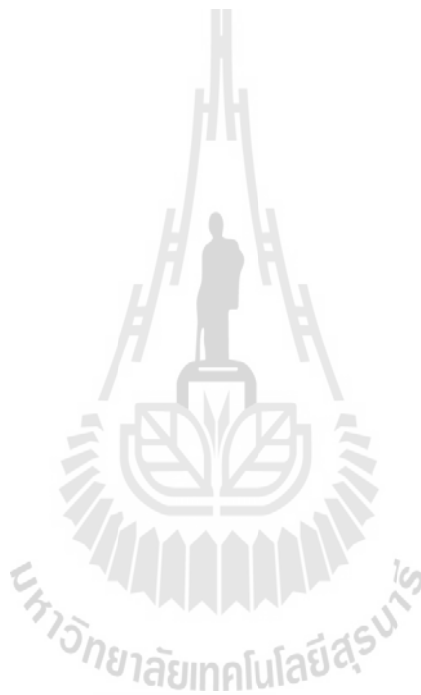
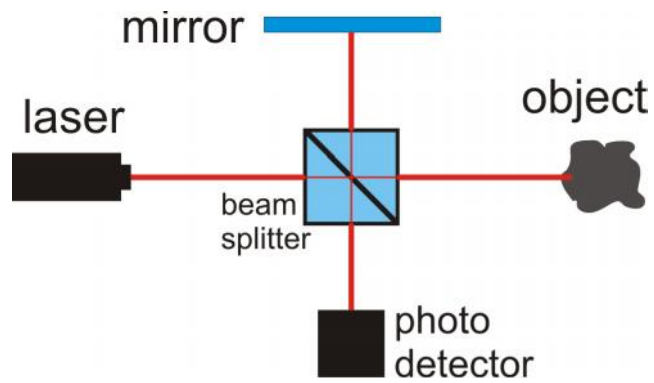
สมการข้างต้นจะแสดงค่าความถี่ของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตรวจวัด แต่ในกรณีของ LDV นั้น สิ่งที่ถูกตรวจวัดจะเป็นแสงที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุที่ถูกตรวจวัด เพราะฉะนั้นปรากฏการณ์ดอปเพลอร์จะต้องนำมาแก้ไขให้เหมาะสม เนื่องจากระบบของ LDV จะเปรียบเสมือนต้นกำเนิดมีการเคลื่อนที่ และวัตถุที่ถูกตรวจวัดอยู่กับที่ ซึ่งการเลื่อนของความถี่ทั้งหมดจะเป็นสองเท่า

$$f_d = 2f \frac{v}{c} = 2 \frac{v}{\lambda} \quad (2.11)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

2.6.3 ไวโบริมิเตอร์

การตรวจวัดความถี่ของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุเป้าหมาย จะทำให้ได้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ แต่ด้วยการที่แสงเลเซอร์มีความถี่สูงมาก คือ $4.74 \cdot 10^{14}$ เฮิร์ต สำหรับแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน และไม่สามารถที่จะทำการแยกสัญญาณ (Demodulation) ได้โดยตรง วิธีการแก้ปัญหา คือ การพิจารณาการแทรกสอดกันของแสงที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุเป้าหมาย และแสงต้นกำเนิดที่ยังออกไป มาตรวัดการแทรกสอดของแสงจะถูกนำมาใช้ในการผสมผสานแสงที่มีการกระจายเข้ากับแสงอ้างอิงอย่างสอดคล้อง ตัวตรวจวัดแสงจะใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสงของแสงที่ผสมผสานมา ว่ามีความถี่ที่แตกต่างกันระหว่างลำแสงอ้างอิงและลำแสงที่กำลังตรวจวัด ยกตัวอย่าง LDV แบบพื้นฐาน คือ มาตรวัดการแทรกสอด มิกเคลสัน



$$E_r = E_{r0} e^{2(\omega_r t + \varphi_r)}$$

$$\begin{aligned} E_m &= E_{m0} e^{2(\omega_m t + \varphi_m)} \\ &= E_{m0} e^{2((\omega_r + \omega_d)t + \varphi_r - \varphi(t))} \\ &= E_{m0} e^{2(\omega_r t + \varphi_r)} e^{2(\omega_d t + \varphi(t))} \end{aligned}$$

วัดกับลำแสงอ้างอิงมีการ.....

$$\begin{aligned} I(t) &= |E_m + E_r|^2 \\ &= I_m + I_r + 2\sqrt{I_m I_r} \cos(\omega_d(t)t - \varphi(t)) \end{aligned}$$

ค่า K ที่นำเสนอขึ้นมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพการผสมผสาน และค่า R ซึ่งคือ ประสิทธิภาพการสะท้อนของพื้นผิวของวัตถุที่ตรวจวัด สมการความเข้มแสงจะเป็น

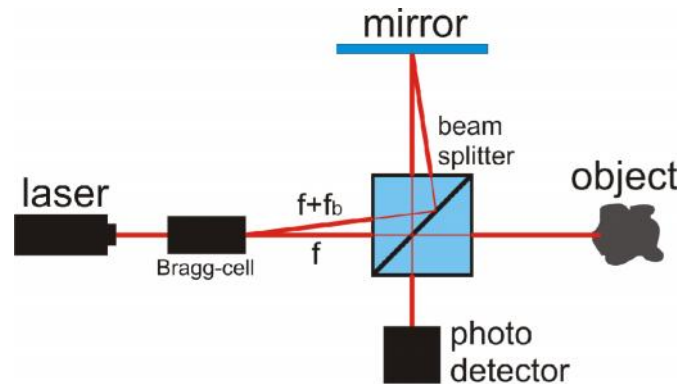
$$I(t) = I_m I_r R + 2K \sqrt{I_m I_r R} \cos(\omega_d t - \varphi(t)) \quad (2.15)$$

ถ้า ΔL มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ค่าความเข้มแสง $I(t)$ ก็จะแปรผันในรูปแบบเป็นคาบ การเปลี่ยนแปลงเฟส φ ของ 2 จะขึ้นอยู่กับระยะ ΔL ของ $\lambda/2$

จากเฟสของความเข้มแสงที่สามารถคำนวณไปเป็นระยะการเคลื่อนที่ได้ แต่การที่จะได้มาซึ่งข้อมูลเฟสนั้นไม่ได้ง่าย วัตถุเป้าหมายที่กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากมาตรวัดการแทรกสอด จะสร้างการแทรกสอดที่มีรูปแบบเดียวกันกับในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้มาตรวัดการแทรกสอด การติดตั้งแบบนี้ไม่สามารถตรวจวัดทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมายได้ การเปลี่ยนวิธีการติดตั้งตัวตรวจวัด จะมีอยู่สองวิธีที่นำเสนอการตอบสนองต่อทิศทางเคลื่อนที่ที่ได้คือ โฮโมไดน์ (Homodyne) และเฮเทโรไดน์ (Heterodyne)

2.6.4 มาตรวัดการแทรกสอดแบบเฮเทโรไดน์

อะคูสติก ออปติก โมดูเลเตอร์ (Acousto-optic modulator) หรืออาจเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่าแบร็กเซลล์ (Bragg cell) จะถูกนำมาวางหลังต้นกำเนิดแสงอ้างอิง ซึ่งจะทำการเพิ่มความถี่ของแสงขึ้น $f_b = 40$ เมกะเฮิร์ต จากการเปรียบเทียบกับความถี่ของแสงเลเซอร์คือ $4.74 \cdot 10^{14}$ เฮิร์ต การเลื่อนของความถี่แสงเลเซอร์ เป็นสาเหตุให้เกิดความถี่ของการแทรกสอดที่เสริมกันด้วยความถี่ 40 เมกะเฮิร์ต เมื่อวัตถุเป้าหมายอยู่นิ่งๆ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ตำแหน่งที่ความเร็วเป็นศูนย์ของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งไป และจะมีการตอบสนองต่อทิศทางของการเคลื่อนที่ด้วย ถ้าวัตถุเคลื่อนที่เข้าหามาตรวัดการแทรกสอด ความถี่ของการแทรกสอดจะลดลง และถ้าวัตถุเคลื่อนที่ออกจากมาตรวัดความถี่การแทรกสอดจะเพิ่มขึ้นแทน นั่นหมายความว่า ตอนนี้เราไม่เพียงแต่สามารถตรวจวัดขนาดของการเคลื่อนที่ได้เท่านั้น แต่เราสามารถตรวจวัดทิศทางเคลื่อนที่ได้ด้วย



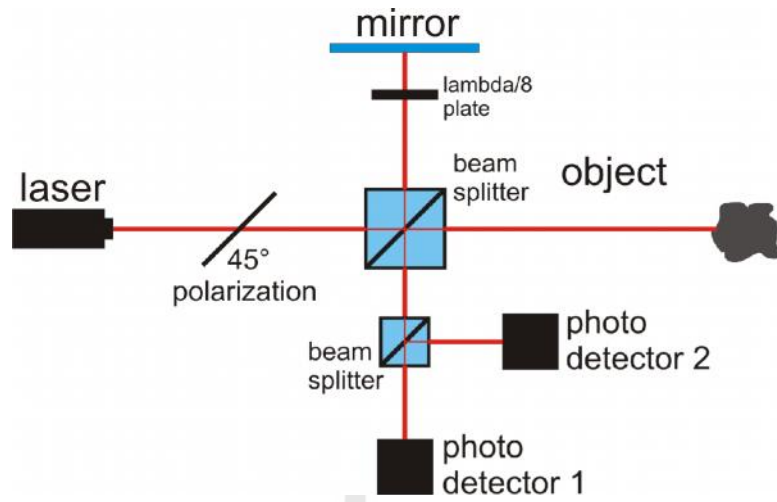
เช่นกัน

$$f = f - f' = -f_a$$

$$f = f + f_b - f - f_a = f_b - f_a$$

และความเข้มแสงของตัวตรวจวัดความเข้มแสง จะกลายเป็น

$$I(t) = I_m I_r R + i K \sqrt{I_m I_r R} \cos \pi [f_b - f_a] t - \varphi(t))$$



สัญญาณอินพุต โดยจะมีการปรับความถี่ของออสซิลเลเตอร์ควบคุม ขึ้นหรือลง จนกระทั่ง ทั้งความถี่และเฟสตรงกับของสัญญาณอ้างอิง จากนั้นก็อ่านค่าแรงดันกับค่าความถี่จากออสซิลเลเตอร์

ตารางที่ 2. 1 แสดงประสิทธิภาพของ LDV สมัยใหม่

	ตั้งแต่	ถึง
ความถี่	0 เฮิร์ต	30 เมกะเฮิร์ต
แอมพลิจูดของการสั่น	2 พิโคเมตร	10 เมตร
ความเร็วของการสั่น	50 นาโนเมตรต่อวินาที	30 เมตรต่อวินาที

แต่ในวิธีการถอดสัญญาณในทางคิจิตอลจะแตกต่างออกไปในการตรวจวัดความถี่ โดยขั้นแรกนั้น สัญญาณจะต้องถูกแปลงให้เป็นคิจิตอลก่อนด้วยตัวแปลงแอนาล็อกเป็นคิจิตอล โดยจะต้องเป็นตัวแปลงความเร็วสูง เนื่องจากสัญญาณที่ทำการตรวจวัดเป็นสัญญาณความถี่สูง ข้อมูลความเร็วที่วัดได้ จะมาจากการใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข เช่น คอนโวลูชัน หรือ เอฟเฟพท์

ส่วนในการประมาณค่าระยะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ถูกตรวจวัดนั้น เทคนิคการตรวจนับขอบ ได้ถูกนำมาใช้ เนื่องด้วยการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปเป็นขนาดครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ ($\lambda/2 = 316$ นาโมเมตร สำหรับแสงเลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน) จะทำให้เฟสเปลี่ยนไป 360 องศา ดังนั้น การนับจำนวนการเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ LDV จะสามารถคำนวณได้ว่าวัตถุเป้าหมายเกิดการเคลื่อนที่ไปเป็นขนาดเท่าไร ด้วยการเพิ่มขึ้นของระยะ $\lambda/2$ ต่อบรอบ ส่วนทิศทางการเคลื่อนที่นั้น ก็ต้องนำมาคำนวณ โดยข้อมูลทิศทางการเคลื่อนที่จะได้มาจากข้อมูลความเร็วของการเคลื่อนที่

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jianfeng Xu, et al. (2009) ได้ตีพิมพ์งานวิจัยไว้ชื่อว่า Effect of Thermal Pole-Tip Protrusion and Disk Roughness on Slider Disk Contact. เป็นการศึกษาลักษณะของการสั่นของสไลเดอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการลดระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ด้วยกระบวนการ Thermal Pole-Tip Protrusion ด้วยการใช้ตัวตรวจวัด LDV ซึ่งจะตรวจวัดการสั่นของสไลเดอร์ใน 5 ทิศทาง คือ ในทิศตั้งฉากกับแผ่นดิสก์, ขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางแนวแท่งข้อมูล, ขนานกับแผ่นดิสก์แบบตามแนวแท่งข้อมูล, รอบแกนพิทช์ และรอบแกน โรลล์ โดยศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสัมผัสกัน โดยพิจารณาการใช้แผ่นดิสก์ที่มีความขรุขระของหน้าแผ่นดิสก์และความหนาของชั้นสารหล่อลื่นที่เคลือบไว้ แตกต่างกัน จากนั้นนำผลลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์มาทำการวิเคราะห์

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาด้วยว่า การสั่นของสไลเดอร์เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หัวอ่านเขียน เพื่อเขียนข้อมูลด้วย ผลการทดลองวิจัยพบว่า สไลเดอร์จะมีขนาดการสั่นทั้ง 5 ทิศทางเพิ่มขึ้น เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปให้หัวอ่านเขียน เพื่อเขียนข้อมูล การสั่นจะอยู่ในย่านความถี่ที่เป็น โหมดการสั่นของซัสเพนชัน โดยขนาดการสั่นจะเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อแผ่นดิสก์มีความขรุขระเพิ่มขึ้นและ เมื่อมีความหนาของสารหล่อลื่นที่เคลือบอยู่ หนาขึ้น

Qinghua Zeng, et al. (2011) ได้ตีพิมพ์งานวิจัยไว้ชื่อว่า An Experimental and Simulation Study of Touchdown Dynamicsเป็นการศึกษาพฤติกรรมของสไลเดอร์ ด้วยการใช้ตัวตรวจวัด AE ในการตรวจวัดการสัมผัสกันของแผ่นดิสก์กับสไลเดอร์ และใช้ตัวตรวจวัด LDV สองตัวในการตรวจวัดการเคลื่อนที่ทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ ของสไลเดอร์ฝั่งขอบชายปีกหลัง (Trailing Edge) และของซัสเพนชัน การวิจัยทำการทดลองกับชิ้นส่วน HGA ที่ทำงานบนแผ่นดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว และใช้ความเร็วในการหมุนแผ่นดิสก์ 5400 รอบต่อนาที สรุปผลการวิจัยได้ว่า เมื่อหัวอ่านเขียนลดระยะห่างกับแผ่นดิสก์ จะเกิดกันสั่นขึ้นสองโหมด โหมดแรกเป็นการสั่นที่ย่านความถี่ 30-150 กิโลเฮิร์ต ซึ่งถูกวิเคราะห์ไว้ว่าเป็นการสั่นในโหมดของซัสเพนชันที่ถูกกระตุ้นจากสารหล่อลื่นที่เคลือบอยู่บนแผ่นดิสก์ ส่วนการสั่นในโหมดที่สองเป็นการสั่นในโหมดพิทช์ของสไลเดอร์เอง โดยจะมีความถี่ในการสั่นที่ย่านความถี่ 200-400 กิโลเฮิร์ต นอกจากนี้ Qinghua Zeng, et al. ยังได้ทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายและเปรียบเทียบผลกับการทดลองจริงที่ได้กระทำไว้ก่อนหน้า ซึ่งสรุปไว้ว่ามีความสอดคล้อง สามารถนำไปใช้ทำนายพฤติกรรมของสไลเดอร์ที่ได้รับการออกแบบมา เพื่อปรับปรุงแก้ไข ให้มีพฤติกรรมตามที่ต้องการได้

Jianfeng Xu, et al. (2011) ได้ตีพิมพ์งานวิจัยไว้ชื่อว่า Characterization of light contact in head disk interface with dynamic flying height control เป็นการศึกษาค้นคว้าการสัมผัสกันแบบเบาของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยการควบคุมระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์แบบควบคุมปรับเปลี่ยนได้ การทดลองจะดูวางแผนไว้สำหรับสไลเดอร์ชนิดที่รองรับการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ได้เท่านั้น โดยผลตอบสนองของสไลเดอร์ จะถูกตรวจจับด้วยตัวตรวจวัด AE การสั่นแบบเสถียรภาพและการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ จะถูกตรวจวัดในขณะที่มีการทำกระบวนการ TPTP และได้มีการทำแบบจำลองทางฟิสิกส์ ขึ้นมาเพื่อเทียบเคียงกับผลที่ได้จากการทดลอง และมีการใช้สเปกโตรแกรมและ HHT เพื่อแยกและระบุลักษณะของสัญญาณตอบสนองขนาดเล็กที่ตรวจวัดได้จากสไลเดอร์ ในขณะที่เกิดการสัมผัสแบบเบา พบว่าสามารถระบุลักษณะของการสั่นว่ามีความถี่การสั่นเป็นพิทช์โหมดของสไลเดอร์

Joerg Fritzsche, et al. (2011) ได้ตีพิมพ์งานวิจัยไว้ ชื่อว่า The effect of air bearing contour design on thermal pole-tip protrusion เป็นงานวิจัยที่ศึกษาค้นคว้าอิทธิพลของรูปร่างผิวหน้าร่องลื่นด้วยอากาศของสไลเดอร์ (ABS) ที่ได้รับการออกแบบมา ต่อกระบวนการ TPTP และผลกระทบต่อลักษณะการยกตัวของสไลเดอร์เหนือแผ่นดิสก์ จึงได้คัดเลือกรูปแบบของ ABS แบบต่างๆมาจำนวนหนึ่ง เพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของ ABS ที่ได้รับการออกแบบมา ต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ TPTP ผลงานวิจัยพบว่าแผ่นชายปีกหลัง (Trailing Pad) ซึ่งมีหัวอ่านเขียนบรรจุอยู่ นั้น ได้รับแรงดันอากาศเพิ่มขึ้น เมื่อทำกระบวนการ TPTP ด้วยค่าความร้อนที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดแผ่นชายปีกหลัง หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของแผ่นชายปีกข้าง (Side Pad) ให้ช่วยกระจายแรงดันอากาศภายใต้ ABS ของสไลเดอร์ จะช่วยให้แรงดันอากาศที่กระทำกับแผ่นชายปีกหลังลดลง การวิจัยได้แสดงผลของรูปร่าง ขนาดและตำแหน่งของแต่ละแพดของ ABS ซึ่งมีผลต่อการยกตัวของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ โดยส่วนสำคัญที่งานวิจัยได้กล่าวถึงไว้ คือแผ่นชายปีกข้าง การขยับตำแหน่งให้เข้าใกล้หัวอ่านเขียนให้ได้มากที่สุด โดยไม่เพิ่มค่าแรงดันที่กระทำกับแผ่นชายปีกหลัง หรือหัวอ่านเขียน จะช่วยให้ลักษณะการยกตัวของสไลเดอร์เหนือแผ่นดิสก์เป็นไปตามที่ออกแบบมากขึ้น แต่จะต้องมีการหาค่าที่เหมาะสม เนื่องจาก ลักษณะการยกตัวของสไลเดอร์ตามที่ออกแบบไว้ จะมีความผูกพันกับค่าพลังงานที่สไลเดอร์ใช้

2.8 สรุป

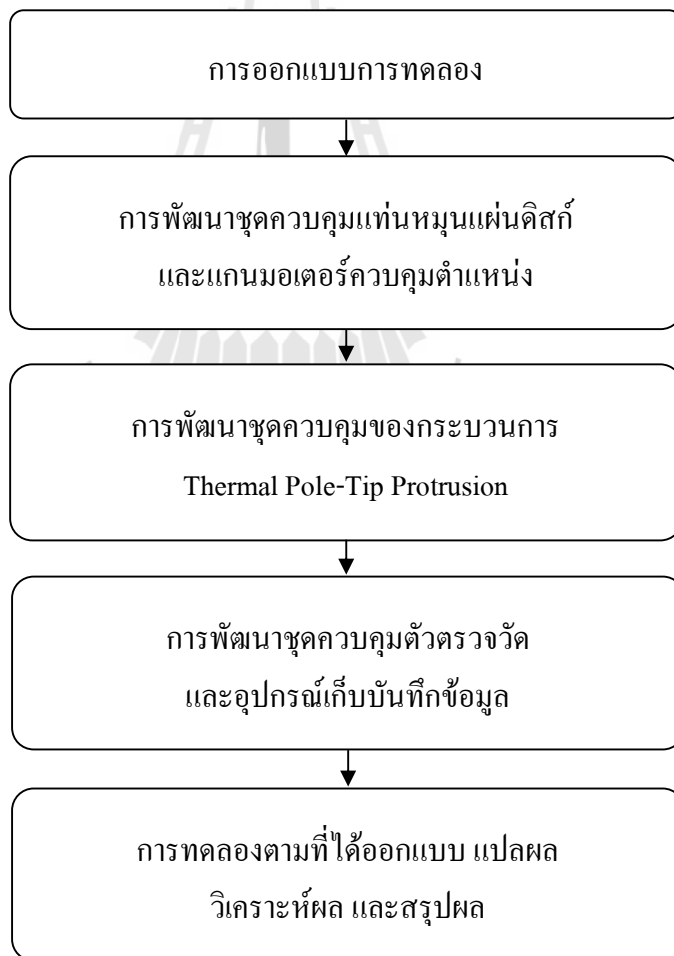
จากการศึกษาองค์ความรู้ต่างๆ และงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ทำให้ได้ความรู้และข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการดำเนินการงานวิจัยครั้งนี้ เข้าใจและสามารถออกแบบติดตั้งชุดควบคุมของการใช้เทคนิคการสร้างความร้อนเพื่อควบคุมการยื่นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์ได้ เข้าใจและสามารถออกแบบติดตั้งตัวตรวจวัด AE รวมไปถึงหลักการพิจารณาการเกิดการสัมผัสของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ เข้าใจและสามารถออกแบบติดตั้งตัวตรวจวัด LDV ที่จะใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางตัดขวางกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางแนวแทรกข้อมูล โดยสไลเดอร์กำลังยกตัวอยู่เหนือตำแหน่งที่จะออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่แผ่นดิสก์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

การศึกษานี้มุ่งเน้นเก็บข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน ในระหว่างทำการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนควบคุมการยื่นตัวเฉพาะส่วนหัวอ่านเขียนของสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์เมื่อสไลเดอร์ยกตัวลอยอยู่เหนือตำแหน่งต่างๆบนแผ่นดิสก์ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลและสรุปผลการศึกษานี้ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

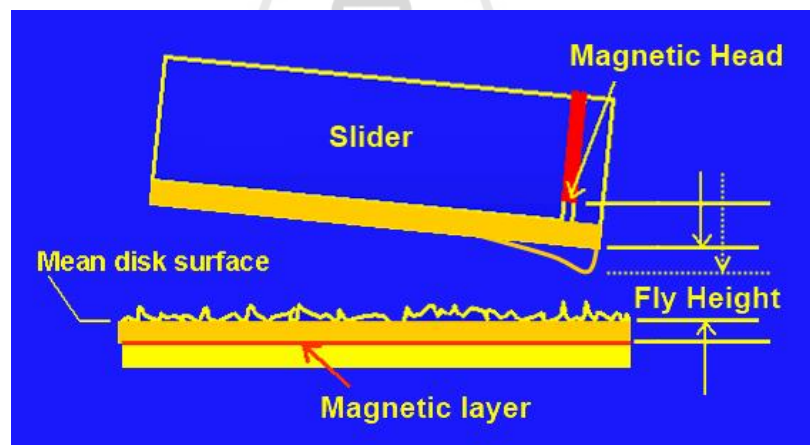


รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

3.2 การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน ในขณะที่สไลเดอร์กำลังยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ จะมีความแตกต่างเป็นลักษณะเฉพาะ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบและกระบวนการผลิต หัวอ่านเขียน, ผิวหน้าด้านแอร์แบร์ริงของสไลเดอร์, แผ่นชดเชย และแผ่นดิสก์ รวมไปถึงกระบวนการประกอบตั้งแต่ชิ้นส่วน HGA, ชิ้นส่วน HSA ไปจนถึงฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยนี้ ได้ออกแบบการทดลองไว้ในระดับชิ้นส่วน HGA ที่ทำงานร่วมกับแผ่นดิสก์เท่านั้น เพราะเป็นระดับพื้นฐานที่สุดที่สามารถทำการทดลองให้หัวอ่านเขียนถูกยกตัวลอยอยู่เหนือตำแหน่งๆ บนแผ่นดิสก์ได้

การศึกษานี้ มุ่งเน้นให้ความสนใจกับลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในขณะที่สไลเดอร์กำลังยกตัวอยู่เหนือตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นดิสก์ แล้วทำการปรับลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ให้น้อยลงจนกระทั่งตรวจพบการสัมผัสกัน การทดลองจึงถูกออกแบบบนพื้นฐานของปัจจัยทั้งสองตัวคือ ออกแบบการทดลองให้หัวอ่านเขียนมีระยะห่างกับแผ่นดิสก์ขนาดต่างๆ และออกแบบการทดลองให้หัวอ่านเขียนอยู่เหนือตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นดิสก์

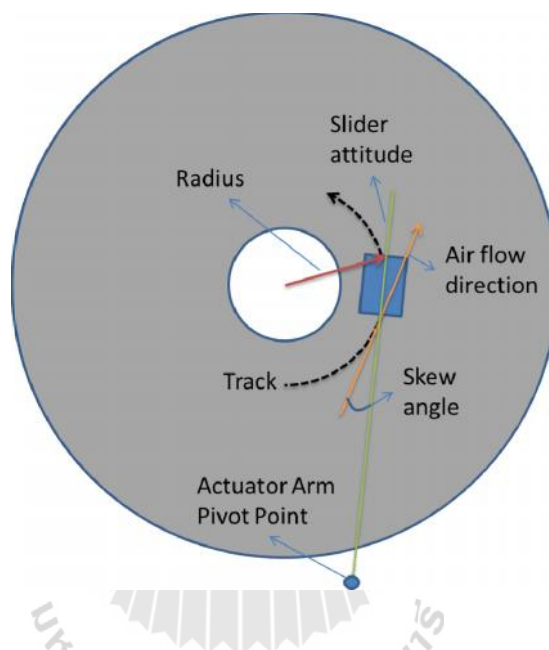


รูปที่ 3.2 แสดงระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์

ที่มา : ดัดแปลงจากของ IBM Almaden Research Center

ในการทำงานตามที่ได้ออกแบบมาของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เลือกมาทำการศึกษานี้ เมื่อแขนขับเคลื่อนหัวอ่านเขียนหมุนนำสไลเดอร์ออกจากตำแหน่งพักการทำงาน ขึ้นไปยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ที่กำลังหมุนอยู่ด้วยความเร็วเชิงมุม 7200 รอบต่อนาทีอากาศจะไหลผ่านใต้ผิวหน้าแอร์แบร์ริงของสไลเดอร์ โดยในระหว่างนั้น หัวอ่านเขียนจะมีระยะห่างกับแผ่นดิสก์ขนาด 15

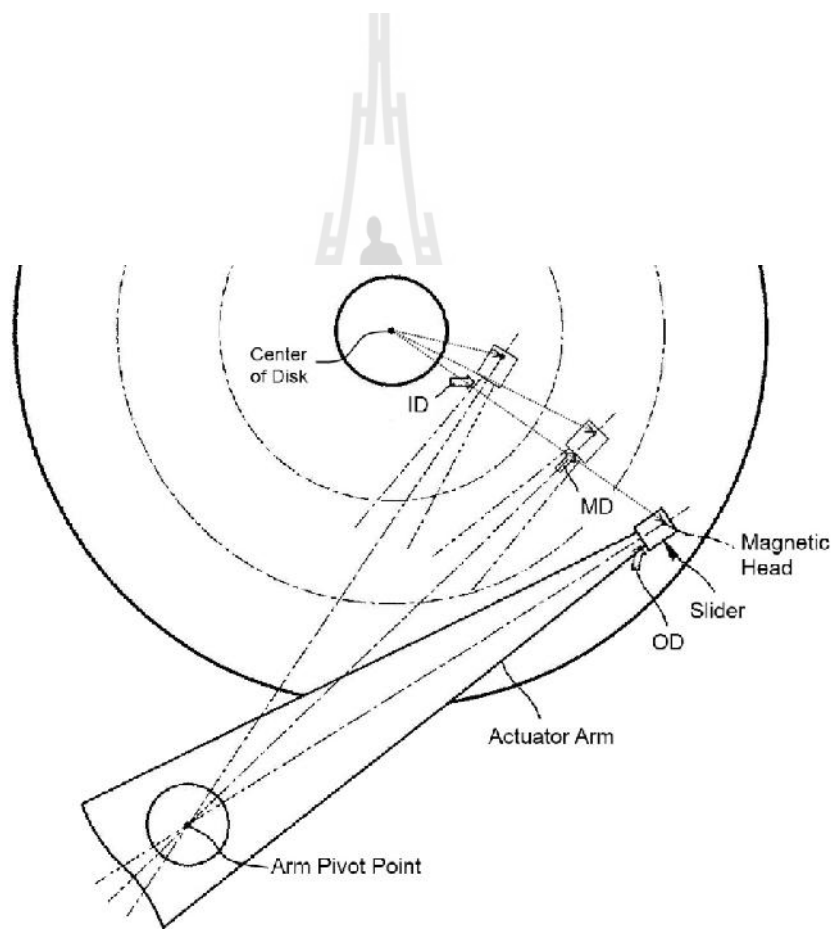
นาโนเมตร แต่ด้วยความสามารถของเทคนิคTPTPหัวอ่านเขียนจะถูกดันขึ้นออกมาจากสไลเดอร์ โดยระยะที่หัวอ่านเขียนถูกดันขึ้นออกมานั้น จะแปรผันตามค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนที่อยู่ภายในสไลเดอร์ ทำให้สามารถควบคุมระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ได้ การทดลองนี้จึงได้ออกแบบให้มีการลดระยะหัวอ่านเขียนเข้าใกล้แผ่นดิสก์เรื่อยๆ ทีละชั้น ชั้นละประมาณ 0.1 นาโนเมตร จนกระทั่งหัวอ่านเขียนสัมผัสกับแผ่นดิสก์ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมการยกตัวบนแผ่นดิสก์ของสไลเดอร์ที่อาจเปลี่ยนแปลงไป เมื่อระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ลดลง



รูปที่ 3.3 แสดงรัศมีของหัวอ่านเขียนจากศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ และมุมบิดตัวของสไลเดอร์ไปจากแนวของแทร็กข้อมูล

จากรูปที่ 3.3 จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อแขนขับเคลื่อนหัวอ่านเขียน ควบคุมให้หัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ เหนือแผ่นดิสก์นั้น ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจมีผลกระทบกับพฤติกรรมการยกตัวบนแผ่นดิสก์ของสไลเดอร์ ได้แก่ ระยะจากศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ไปจนถึงหัวอ่านเขียน หรือรัศมี(Radius) และมุมการวางตัวของสไลเดอร์บิดไปจากแนวการหมุนของแผ่นดิสก์ หรือมุมบิดตัว (Skew angle)

ในการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แผ่นดิสก์จะถูกหมุนให้มีความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) คงที่ 7200รอบต่อนาทีเพราะฉะนั้น ความเร็วเชิงเส้น (Linear velocity) ของแผ่นดิสก์ที่สไลเดอร์จะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของสไลเดอร์ที่มีระยะรัศมีห่างจากศูนย์กลางของแผ่นดิสก์เปลี่ยนไปเนื่องจากความยาวของเส้นรอบวงของพื้นที่แผ่นดิสก์ที่เคลื่อนที่ผ่านสไลเดอร์เพิ่มขึ้น



การทดลองนี้จึงได้ออกแบบให้มีการกำหนดตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ ที่ครอบคลุมโซนพื้นที่ 5 โซนบนแผ่นดิสก์ ได้แก่

1. โซนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inner Diameter, ID)
2. โซนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางกึ่งกลาง (Middle Diameter, MD)
3. โซนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (Outer Diameter, OD)
4. โซนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง MD กับ ID (Middle-Inner Diameter, MID)
5. โซนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง MD กับ OD (Middle Outer Diameter, MOD)

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของสไลเดอร์ที่กำหนดไว้สำหรับการทดลองเก็บข้อมูล

ชื่อตำแหน่งสไลเดอร์	รัศมี (นิ้ว)	มุมบิดตัว (องศา)
Inner Diameter (ID)	0.77	-15.8
Middle-Inner Diameter (MID)	0.9868	-5
Middle Diameter (MD)	1.1404	0
Middle-Outer Diameter (MOD)	1.3178	5
Outer Diameter (OD)	1.7842	16.13

เนื่องจากการทดลองมีกระบวนการทำงานเป็นลำดับขั้นตอน และทำซ้ำกระบวนการเดิมกับชิ้นส่วน HGA แต่ละตัว ดังนั้นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดทดลอง และควบคุมกระบวนการทดลองโดยรวมให้เป็นไปตามระเบียบวิธีที่ออกแบบไว้ จึงเป็นประโยชน์มาก ช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อน ลดเวลาที่ใช้ ในการทำการทดลอง อีกทั้งยังช่วยให้ข้อมูลที่ได้รับความแม่นยำและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ระเบียบวิธีในการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีลำดับขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

3.2.1 ผู้ทำการทดลองนำชิ้นส่วน HGA 1 ตัว และแผ่นดิสก์ 1 แผ่น มาติดตั้งในชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.2.2 ควบคุมให้สไลเดอร์เคลื่อนที่ขึ้นไปยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ที่กำลังหมุนอยู่ด้วยความเร็วเชิงมุม 7200 รอบต่อนาที

ควบคุมให้สไลเดอร์เคลื่อนที่ไปยกตัวอยู่บนแผ่นดิสก์โดยให้หัวอ่านเขียนอยู่ที่แต่ละตำแหน่งตามที่กำหนดไว้ใน การทดลองนี้จึงได้ออกแบบให้มีการกำหนดตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ ที่ครอบคลุมโซนพื้นที่ 5 โซนบนแผ่นดิสก์ ได้แก่

6. โซนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inner Diameter, ID)

7. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางกึ่งกลาง (Middle Diameter, MD)
8. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (Outer Diameter, OD)
9. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง MD กับ ID(Middle-Inner Diameter, MID)
10. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง MD กับ OD(Middle Outer Diameter, MOD)

3.2.3 ตารางที่ 3.1 โดยในรอบแรก จะเริ่มจากที่ตำแหน่ง ID

3.2.4 จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับตัวทำความร้อนที่อยู่ภายในสไลเดอร์ และอ่านค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวทำความร้อน เพื่อคำนวณและควบคุมให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวทำความร้อนประมาณ 1 มิลลิวัตต์ แล้วทำการเก็บสัญญาณจากตัวตรวจวัดทั้งสาม เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในภายหลังให้กับพฤติกรรมกรายกตัวของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ เมื่อมีการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์

3.2.5 เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน เป็นขั้นๆ โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวทำความร้อน จากการเพิ่มแรงดันไฟฟ้ารอบก่อนหน้า มาคำนวณเป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนคำนวณและควบคุมให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ครั้งละ 0.1 นาโนเมตรเพื่อค้นหาช่วงค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำให้หัวอ่านเขียนเข้าใกล้แผ่นดิสก์มากๆ จนถึงได้เกิดการสัมผัส ซึ่งเป็นจุดที่การศึกษานี้ให้ความสนใจกับพฤติกรรมเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนซึ่งในทุกๆ การเพิ่มค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนแต่ละขั้น จะมีการเก็บบันทึกข้อมูลจากตัวตรวจวัดทั้งสามตัว เป็นข้อมูลดิบที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ผลภายหลัง

3.2.6 เมื่อตัวตรวจวัด AEตรวจพบการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ให้ทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้กับหัวอ่านเขียนและเก็บข้อมูลไปอีก ให้ครบ 20 รอบหลังตรวจเจอการสัมผัส จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นการทดลองเก็บข้อมูลของหัวอ่านเขียนที่กำลังยกตัวอยู่เหนือตำแหน่ง ID บนแผ่นดิสก์

ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3-6 โดยเปลี่ยนตำแหน่งการยกตัวของสไลเดอร์ลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ โดยให้หัวอ่านเขียนไปอยู่ ณ ตำแหน่งถัดไปจากการทดลองนี้จึงได้ออกแบบให้มีการกำหนดตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ ที่ครอบคลุมโซนพื้นที่ 5 โชนบนแผ่นดิสก์ ได้แก่

11. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inner Diameter, ID)
12. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางกึ่งกลาง (Middle Diameter, MD)
13. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (Outer Diameter, OD)
14. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง MD กับ ID(Middle-Inner Diameter, MID)
15. โชนบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง MD กับ OD(Middle Outer Diameter, MOD)

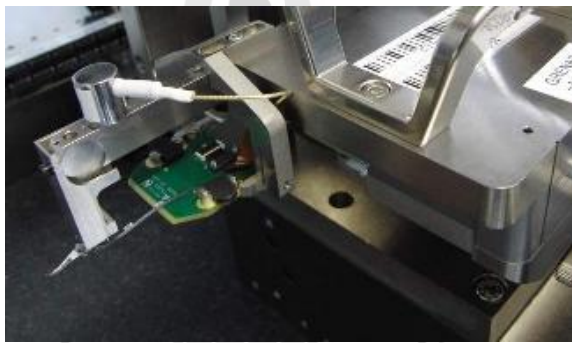
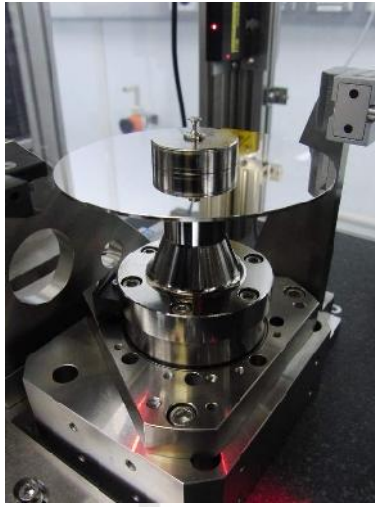
3.2.7 ตารางที่ 3.1จนครบทุกตำแหน่ง จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นการทดลองเก็บข้อมูลกับชิ้นส่วน HGA ตัวหนึ่ง

3.2.8 เคลื่อนสไลเดอร์ออกจากแผ่นดิสก์ขึ้นไปยังตำแหน่งพักการทำงาน ผู้ทดลองถอดชิ้นส่วน HGA ที่ทำการทดลองเสร็จแล้วออกจากชุดทดลอง แล้วเปลี่ยนเป็นชิ้นส่วน HGA ตัวถัดไปจนครบจำนวนชิ้นส่วน HGA ที่จะทำการทดลอง

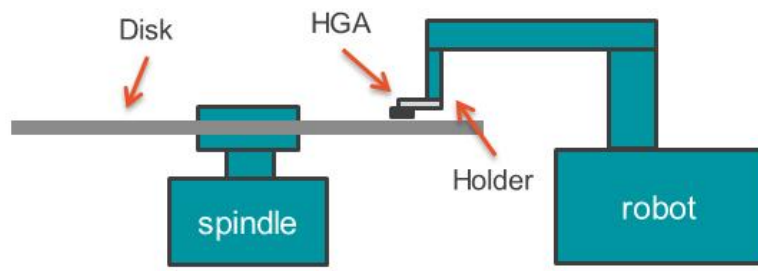
3.3 การพัฒนาชุดควบคุมแทนหมุนแผ่นดิสก์และแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่ง

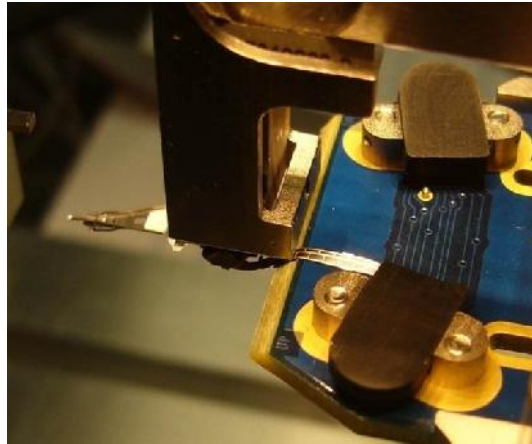
ขั้นตอนที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทดลองของการศึกษาวิจัยนี้ คือ การหมุนแผ่นดิสก์โดยมีจุดศูนย์กลางของแผ่นดิสก์เป็นจุดหมุน ให้แผ่นดิสก์มีความเร็วเชิงมุมตามที่กำหนดให้สำหรับให้สไลเดอร์สามารถทำการยกตัวอยู่บนแผ่นดิสก์ด้วยระยะห่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ตามที่ได้รับการออกแบบมา คือ 15 นาโนเมตร การกำหนดตำแหน่งของหัวอ่านเขียนเหนือแผ่นดิสก์ในพิกัดเชิงรัศมี ซึ่งมีศูนย์กลางของแผ่นดิสก์เป็นจุดอ้างอิง ตำแหน่งของหัวอ่านเขียน ในการทำงานของหัวอ่านเขียนเหนือแผ่นดิสก์นั้น ในชุดทดลองของงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชุดแทนหมุนแผ่นดิสก์ (Spin-Stand) และตัวยึดจับชิ้นส่วนประกอบ HGA เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการหมุนแผ่นดิสก์ให้ได้ความเร็วรอบการหมุนดิสก์ที่กำหนดไว้ คือ 7200รอบต่อนาที และใช้ในการเคลื่อนที่หัวอ่านเขียนไปยังตำแหน่งต่างๆ ตั้งแต่ในกระบวนการนำหัวอ่านเขียนขึ้นไปบินบนแผ่นดิสก์ การเคลื่อนหัวอ่านเขียนไปทำการเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นดิสก์ จนถึงการนำหัวอ่านเขียนออกจากแผ่นดิสก์เมื่อการทดลองกับชิ้นส่วน HGA ตัวนั้นเสร็จสิ้น

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชุดแทนหมุนแผ่นดิสก์ของ โดเวอร์ รุ่น DMM 3110 ซึ่งประกอบไปด้วยแทนหมุนแผ่นดิสก์ที่สามารถหมุนแผ่นดิสก์ได้ด้วยความเร็วเชิงมุมสูงสุด 15,000 รอบต่อนาที และมีแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งอยู่ในชุด จำนวน 3 แกน ได้แก่ แกน X, แกน Y, และ แกน Z ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ได้แกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งจะต้องมีส่วนที่ใช้ในการยึดจับชิ้นส่วน HGA ที่จะทำการทดลอง



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





$$P = IV$$

$$R = \frac{V}{I}$$

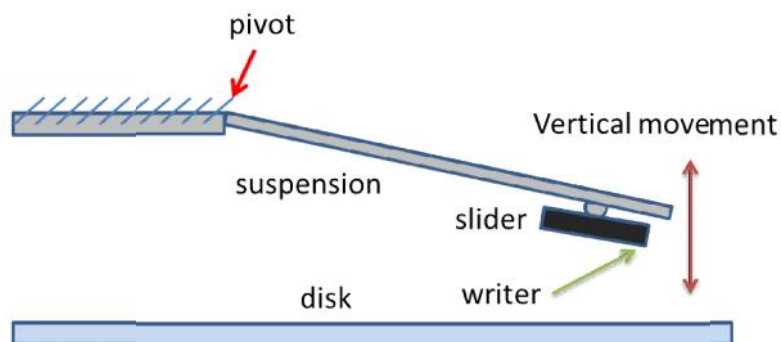
$$V(t) = \sqrt{P(t)R} \quad (3.3)$$

เมื่อ	$P(t)$	คือ	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการให้ตัวทำความร้อนได้รับ
	$V(t)$	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้ตัวทำความร้อน
	V	คือ	ค่าแรงดันตกคร่อมตัวทำความร้อน
	I	คือ	ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวทำความร้อน
	P	คือ	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ตัวทำความร้อนได้รับ
	R	คือ	ค่าความต้านทานของตัวทำความร้อน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับแตกต่างกัน

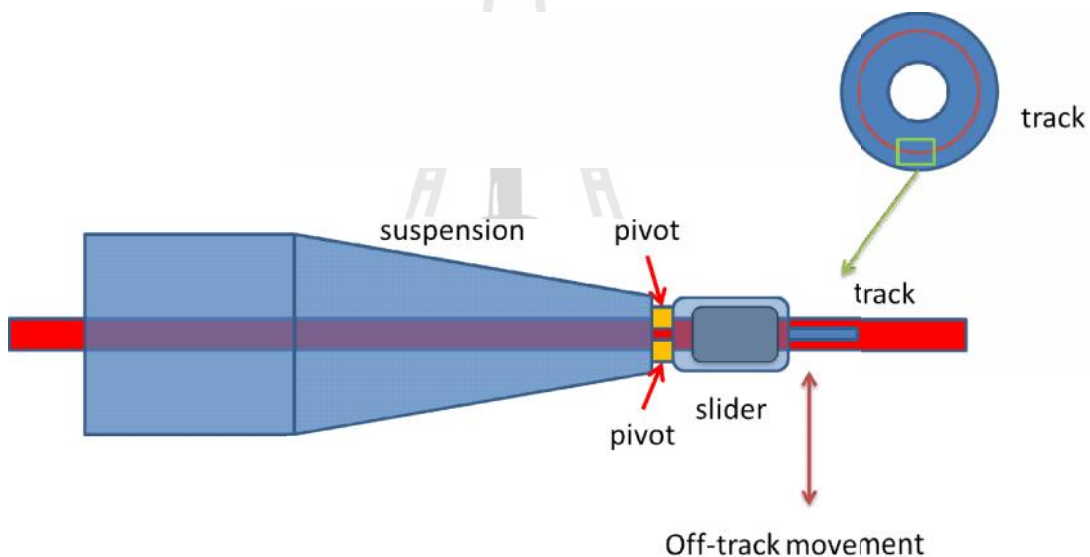
3.5 การออกแบบและติดตั้งตัวตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ขณะยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์

โดยปกติ การอ่านเขียนข้อมูลของหัวอ่านเขียนลงบนแผ่นดิสก์นั้น จะมีการทำงานอยู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ที่เป็นระบบปิด ไม่สามารถมองเห็นการทำงานของหัวอ่านเขียนบนแผ่นดิสก์ได้โดยตรง ดังนั้น จากงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ ที่อยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กำลังทำงานนั้น จะสามารถทำได้ผ่านทาง การอ่านสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจากหัวอ่านเขียนหรือตัวตรวจวัดบางชนิดที่สามารถติดตั้งอยู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เท่านั้น ไม่สามารถทำการตรวจวัดในทางกายภาพได้โดยตรง ในการศึกษาวิจัยนี้จึงต้องออกแบบชุดทดลองที่เป็นระบบเปิดขึ้นมา เพื่อแสดงให้เห็น พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ ในระหว่างการยกตัวทำงานเหนือแผ่นดิสก์ ให้เสมือนกับการทำงานภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จริง ทำให้สามารถนำตัวตรวจวัดไปติดตั้งเพื่อตรวจจับลักษณะการเคลื่อนที่ทางกายภาพของหัวอ่านเขียนหรือสไลเดอร์ ในระหว่างที่กำลังยกตัวเหนือแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ ให้ตรงกับจุดมุ่งหมายของการศึกษานี้

ด้วยโครงสร้างของชิ้นส่วน HGA นั้น มีจุดหมุนที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ในระหว่างที่กำลังยกตัวอยู่เหนือแผ่นดิสก์ได้หลักๆ สองทิศทางคือ ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ ดังรูปที่ 3.10 กับในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแท่งข้อมูลบนแผ่นดิสก์ ดังรูปที่ 3.11

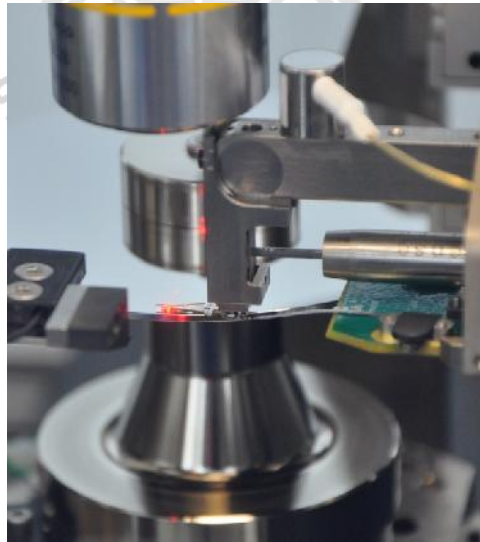
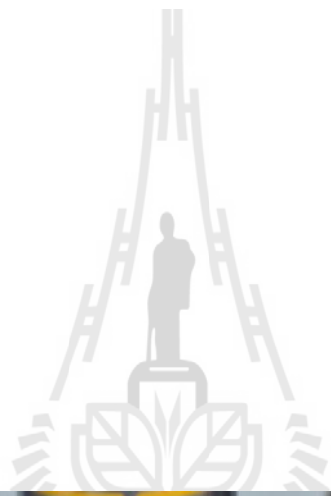


รูปที่ 3.10 แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์



รูปที่ 3.11 แสดงการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์
แบบตัดขวางแนวแทร็กข้อมูล

การเก็บข้อมูลมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ เป็นการเก็บบันทึกสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด 3 ตัว ได้แก่ ตัวตรวจวัด AE และตัวตรวจวัด LDV จำนวน 2 ตัว สัญญาณจากตัวตรวจวัด AE จะแสดงให้เห็นระดับความรุนแรงของการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านเขียนกับผิวแผ่นดิสก์ ซึ่งจะนำมาใช้เป็นตัวบ่งบอกการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ขึ้น ส่วนตัวตรวจวัด LDV ทั้งสองตัวนั้น จะใช้ตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ในขณะที่ยกตัวลอยอยู่บนผิวแผ่นดิสก์ ซึ่งจะสื่อไปถึง



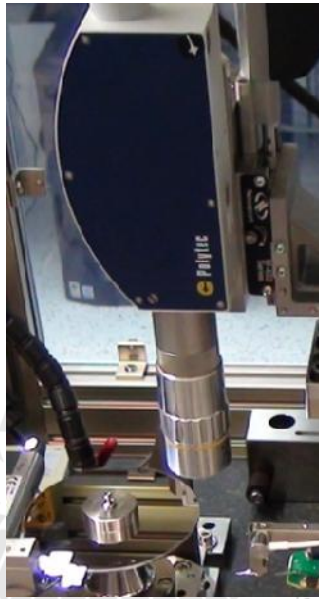
ตามลำดับ จนกระทั่งตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยการพิจารณา สัญญาณจากตัวตรวจวัด AE โดยจะถือว่าหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์สัมผัสกัน เมื่อค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE มีขนาดใหญ่กว่าค่าเทรชโฮลด์เรียกว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการแตะสัมผัสกัน(Touch-Down Power :TDP)

อย่างไรก็ตาม เมื่อได้ทดสอบการทำงานของตัวตรวจวัด AE เพื่อที่จะใช้ในการตรวจจับการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์นั้น ปรากฏว่า สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด AE มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง เมื่อเริ่มทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวทำความร้อน ซึ่งจะทำให้หัวอ่านเขียนถูกดันยื่นออกมาสัมผัสกับยอดแหลมของความขรุขระที่ผิวแผ่นดิสก์ ดังนั้นในการตรวจจับการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ไว้คงที่ ในบางครั้งจะทำให้ตรวจจับการสัมผัสของหัวอ่านเขียนได้เร็วเกินไปก่อนเกิดการสัมผัสกันจริงก่อนที่หัวอ่านเขียนจะถูกยื่นออกไปจนสัมผัสกับเนื้อผิวจริงของแผ่นดิสก์ จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาของ V. Barat Et al.(2011)ในการใช้ตัวตรวจวัด AE กับงานที่มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง จะใช้ค่าเทรชโฮลด์แบบปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive threshold)ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ จะใช้สัญญาณของรอบการสุ่มตัวอย่าง สัญญาณ (Sampling) จำนวน 10 รอบก่อนหน้าตั้งแต่การเริ่มต้นการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ตัวทำความร้อน มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย(Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) นำมาใช้คำนวณเป็นค่าเทรชโฮลด์ของการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการสัมผัสกันได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

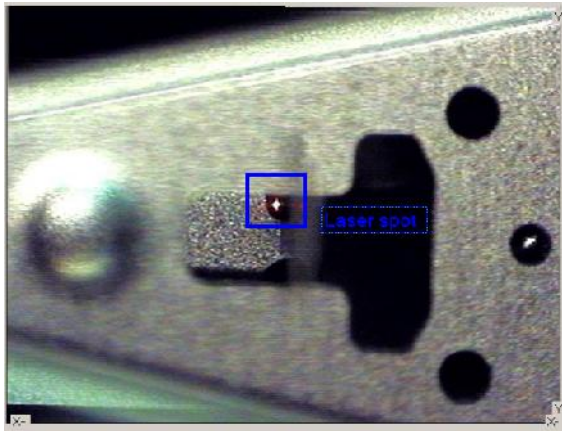
$$Threshold_i = Mean(AE_{i,10}) + \gamma \cdot S.D.(AE_{i,10}) \quad (3.4)$$

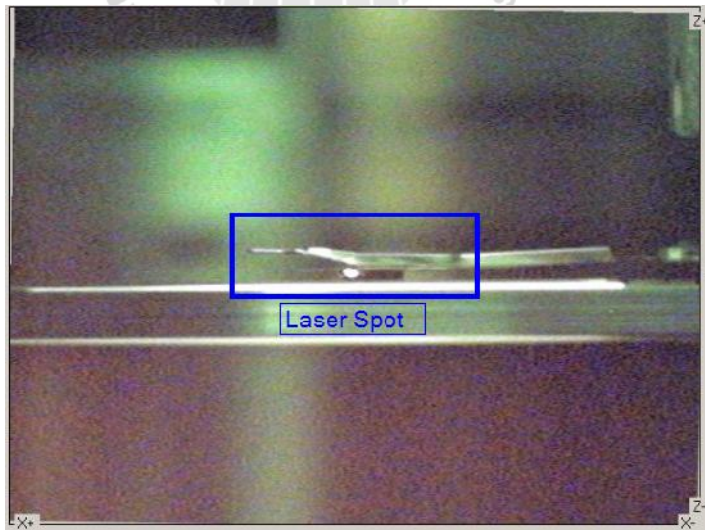
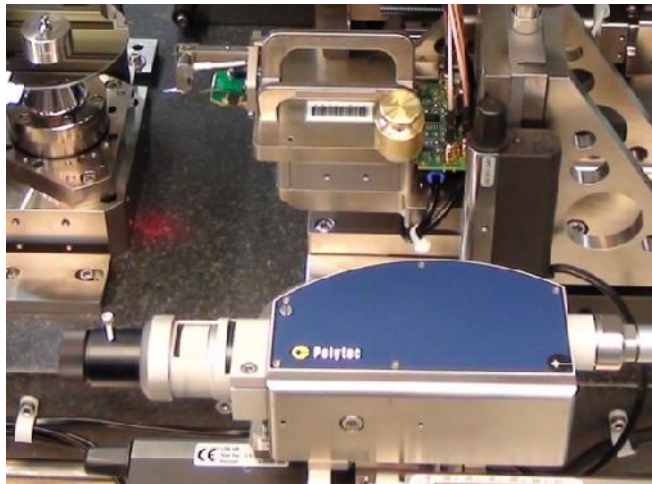
เมื่อ	$Mean(AE_{i,10})$ คือ	ค่าเฉลี่ยของสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE จำนวน 10 รอบก่อนหน้า
	$S.D.(AE_{i,10})$ คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE จำนวน 10 รอบก่อนหน้า
	γ คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการปรับเทียบกับข้อมูลจำนวนหนึ่งก่อนเริ่มการทดลองจริง

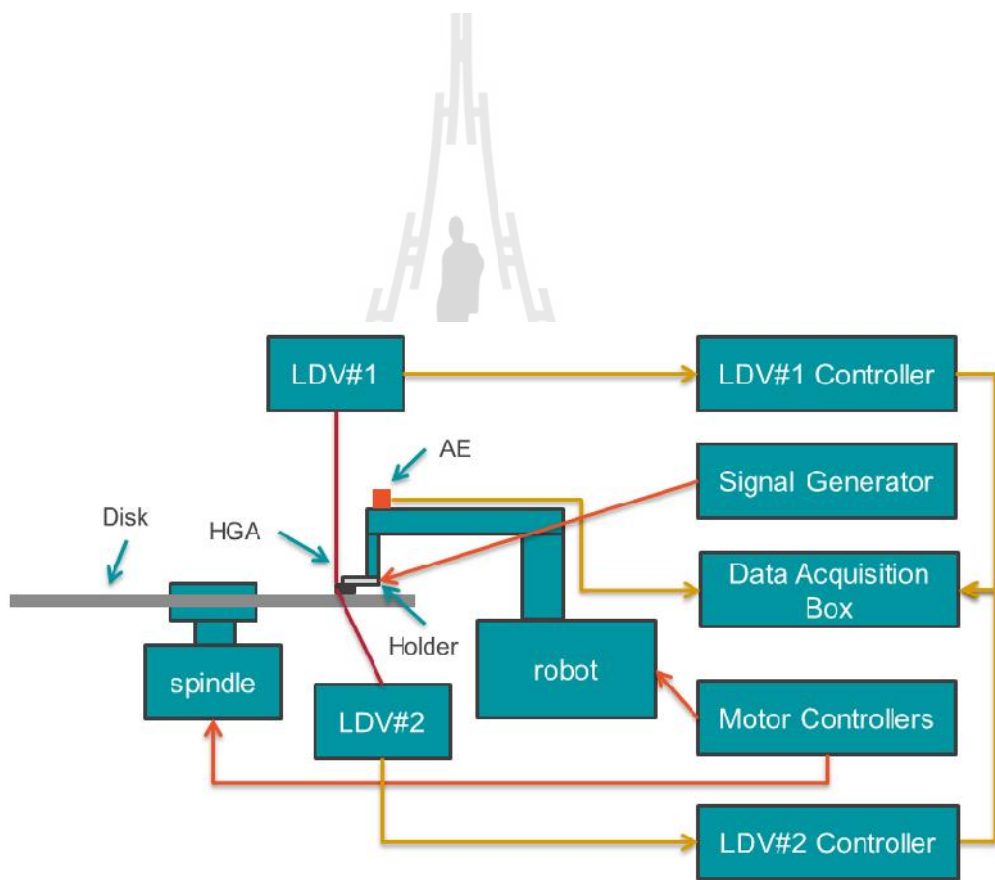
ส่วนตัวตรวจวัดอีกชนิดที่ใช้ คือตัวตรวจวัดLDV เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุจากแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาจากผิวของสไลเดอร์ที่กำลังตรวจวัดถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้จำนวน 2 ตัว ตัวแรกถูกติดตั้งเพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ และอีกตัวถูกติดตั้งเพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแทร็กข้อมูลของแผ่นดิสก์



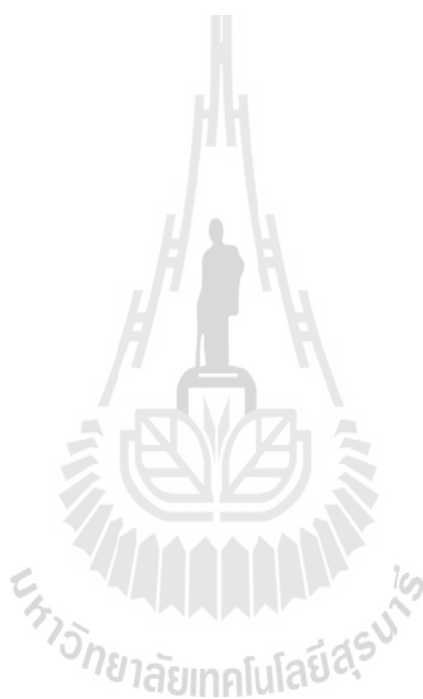
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







อุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน เพื่อให้เกิดการยื่นตัวเข้าใกล้แผ่นดิสก์ และในขณะเดียวกันก็เก็บบันทึกสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE และตัวตรวจวัด LDV มาเก็บไว้ในไฟล์ เพื่อนำมาแปลผลและวิเคราะห์ในบทต่อไป



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

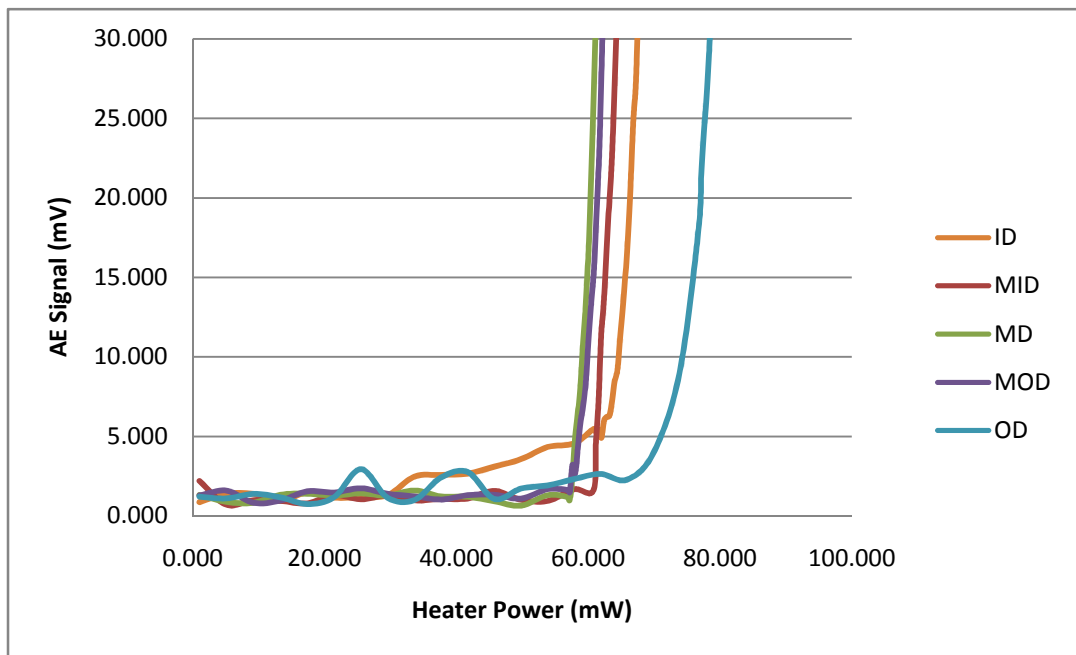
4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดลองรวมไปถึงการวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลองจากข้อมูลดังกล่าวได้แก่ ข้อมูลการเกิดการสัมผัสหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแทร็กข้อมูล โดยข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกเก็บบันทึกในการทดลองปรับเปลี่ยนระยะห่างของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยเทคนิค TPTP ขณะที่สไลเดอร์กำลังยกตัวลอยอยู่เหนือตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นดิสก์

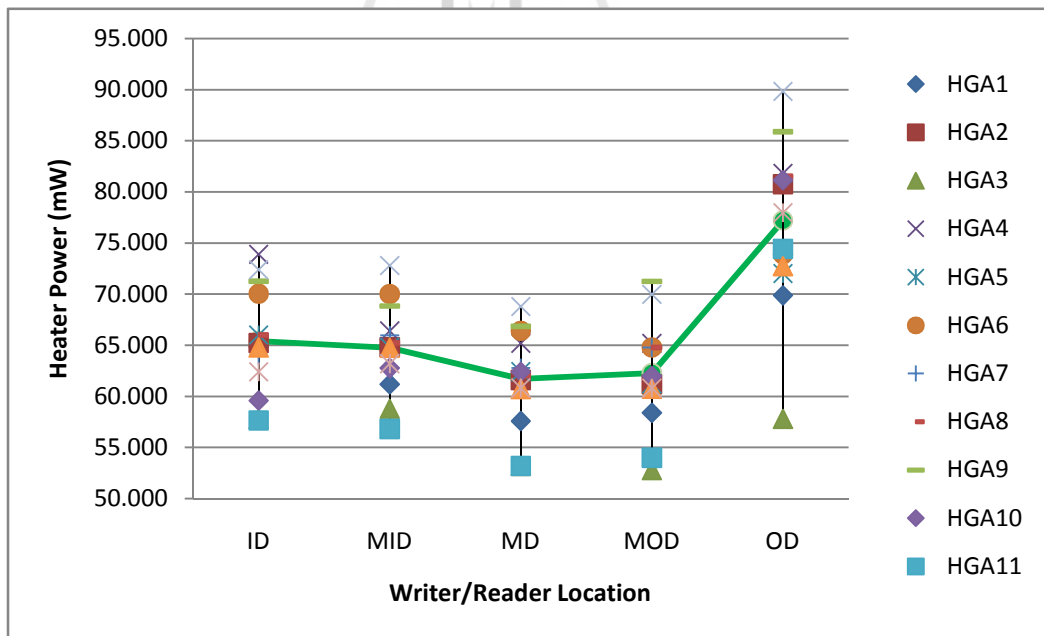
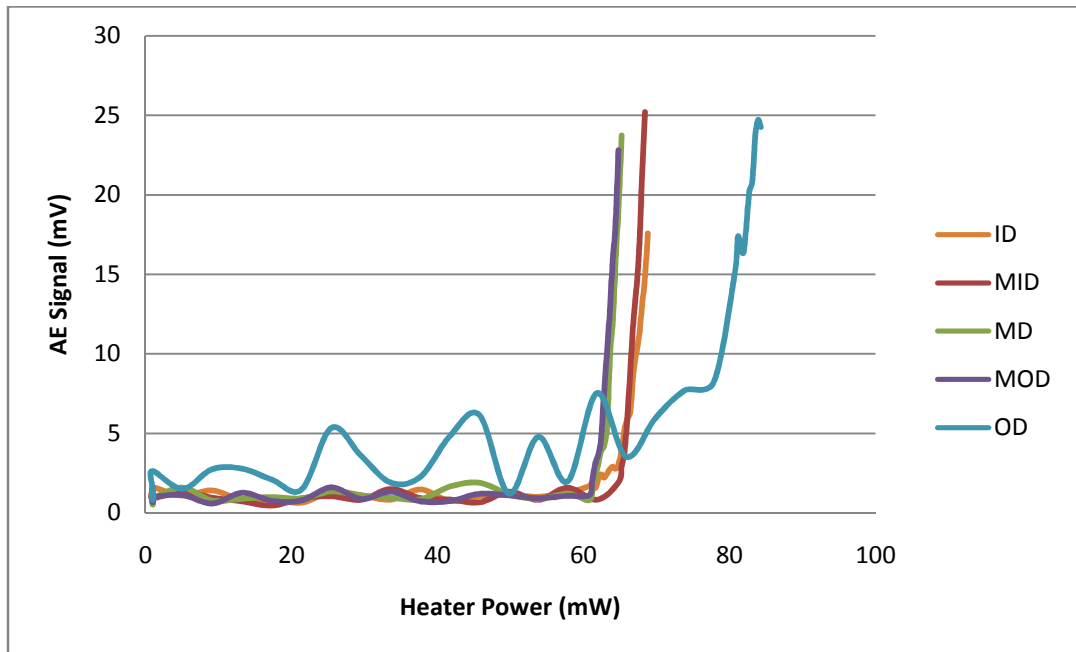
4.2 การเกิดการสัมผัสหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์

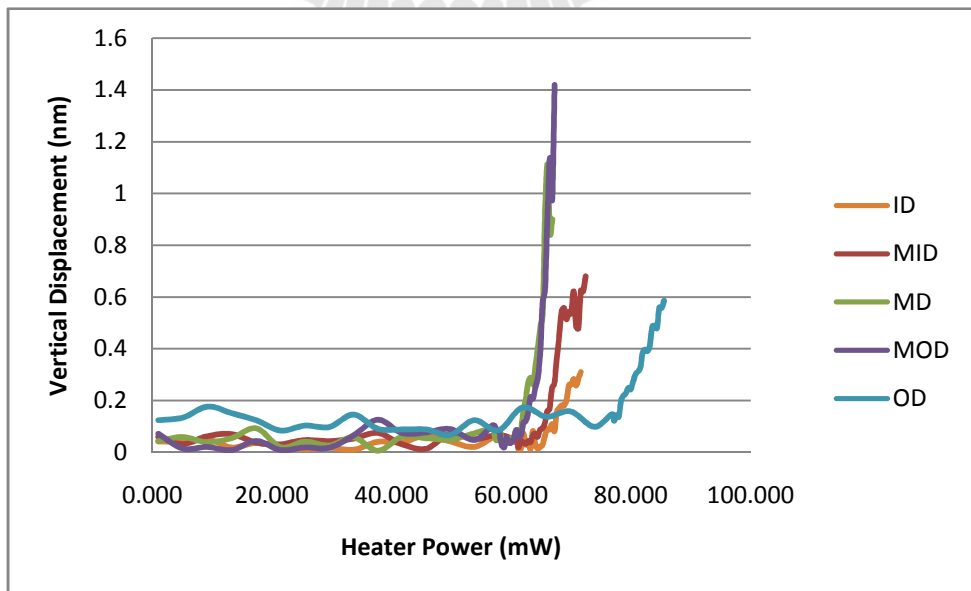
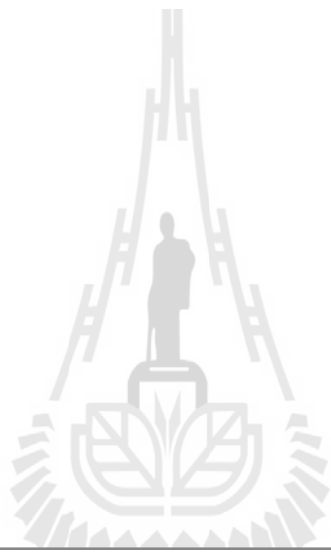
จากการทดลองที่ได้รับการออกแบบไว้ เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนเพิ่มขึ้นทีละลำดับขั้น หัวอ่านเขียนจะถูกดันขึ้นออกมาจากสไลเดอร์เข้าใกล้แผ่นดิสก์ทีละระยะตามลำดับด้วยระยะที่สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนได้รับ จนกระทั่งตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยการพิจารณาสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด AE ขณะนั้นๆ ว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังสองสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้ จึงถือว่า หัวอ่านเขียนสัมผัสกับแผ่นดิสก์และได้ค่ากำลังไฟฟ้า TDP การทดลองถูกออกแบบไว้ให้ทำการเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวทำความร้อนต่อไปอีก หลังจากที่ได้ตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์แล้ว อีกให้ครบ 20 รอบการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน การทดลองเก็บข้อมูลจากตัวตรวจวัด AE ในขณะที่กำลังใช้เทคนิค TPTP จะกระทำโดยสไลเดอร์กำลังยกตัวอยู่เหนือทั้ง 5 ตำแหน่งบนแผ่นดิสก์ได้แก่ ID, MID, MD, MOD และ OD ตามลำดับจากการทดลอง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นผลของ HGA ตัวที่ 1

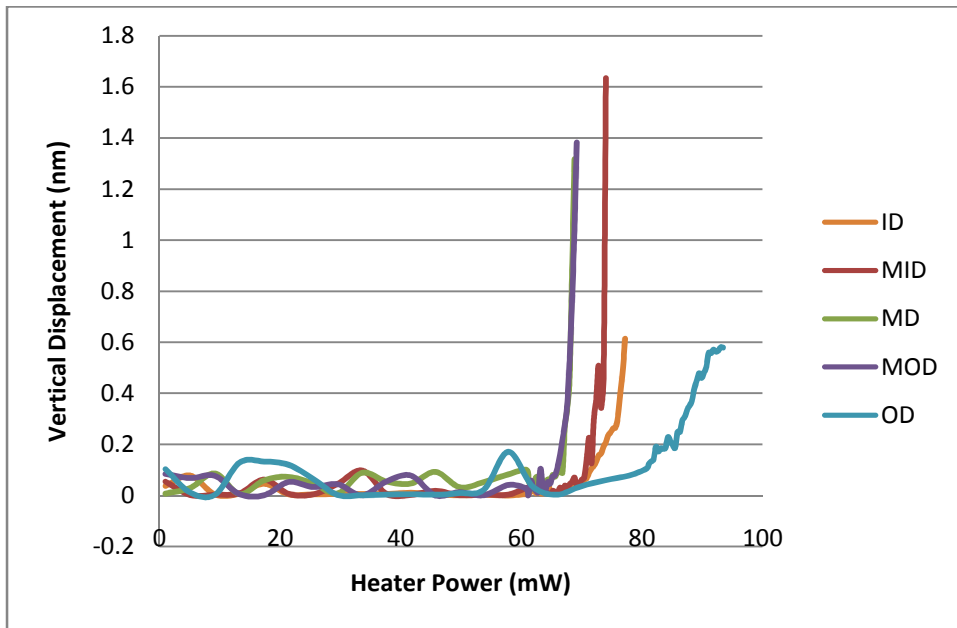
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนได้รับมีค่าประมาณ 60 มิลลิวัตต์ จะเริ่มตรวจพบการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดของสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE ยกเว้นเมื่อสไลเดอร์ยกตัวอยู่เหนือตำแหน่ง OD ของแผ่นดิสก์ ซึ่งพบว่าในระหว่างที่กำลังเพิ่มระดับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวทำความร้อนนั้น จะตรวจพบสัญญาณรบกวนที่มีขนาดใหญ่ ของสัญญาณจากตัวตรวจวัด AE และจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแบบทันทีทันใด เมื่อกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัว

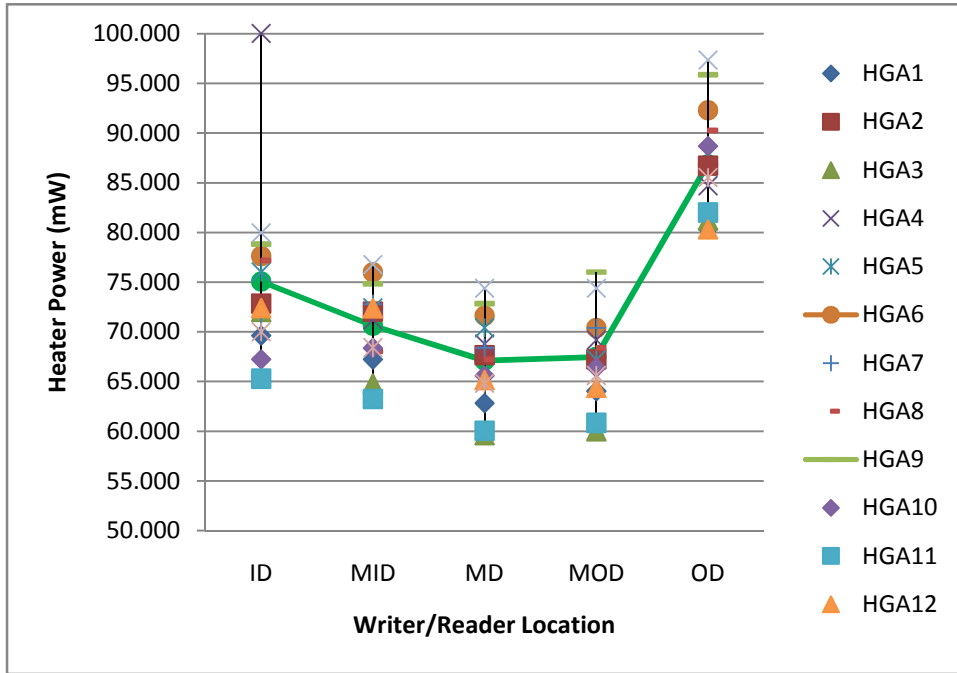


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



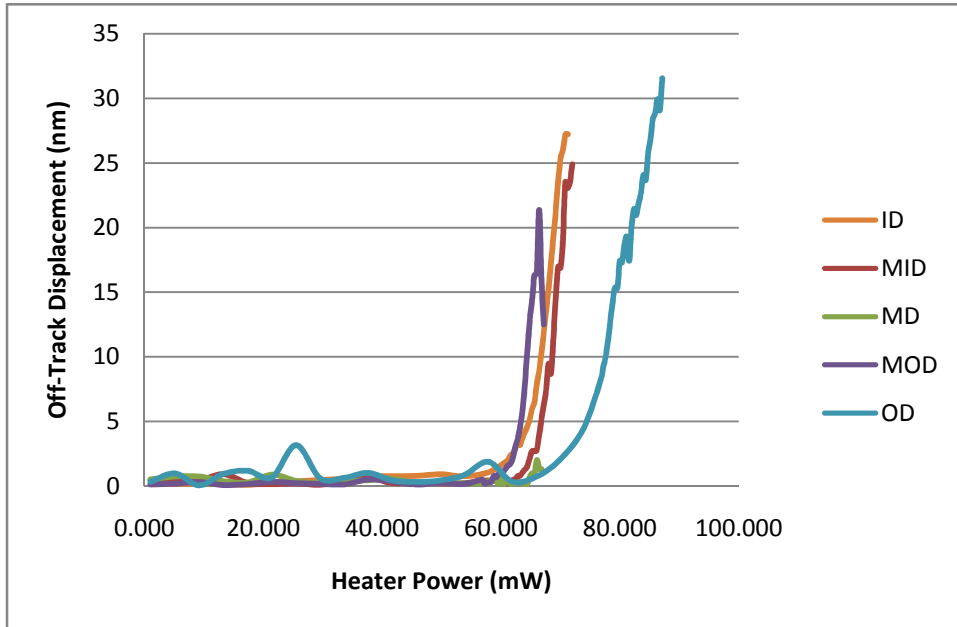


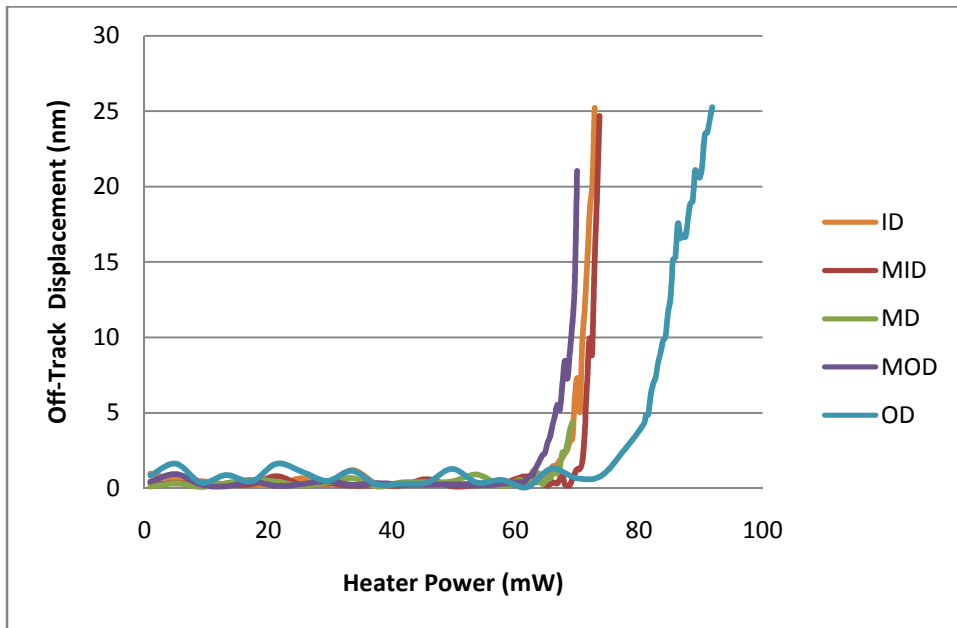


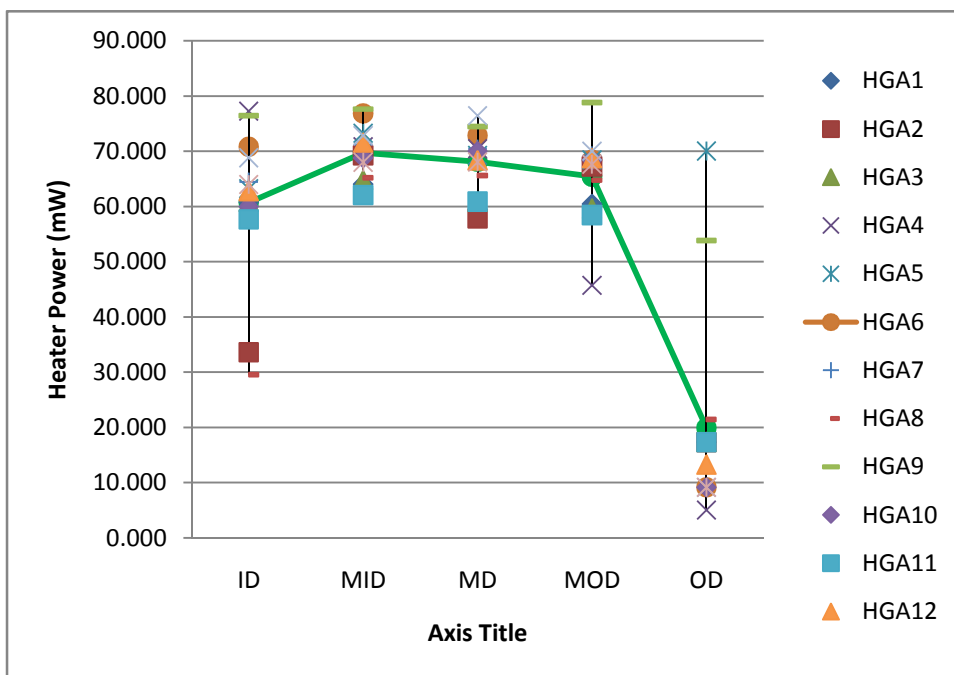


	Missed-Height Power (MHP)				
	ID	MID	MD	MOD	OD
HGA1	69.619	67.222	62.822	64.027	80.345
HGA2	76.030	72.026	67.633	67.228	86.714
HGA3	72.000	64.800	59.600	60.000	81.200
HGA4	100.000	71.200	68.800	69.200	84.700
HGA5	76.000	72.400	70.400	67.200	81.900
HGA6	77.627	76.004	71.615	70.403	92.285
HGA7	100.000	72.792	68.402	70.379	100.000
HGA8	77.196	68.023	67.226	68.385	90.279
HGA9	100.000	74.843	72.844	76.024	100.000
HGA10	100.000	68.383	65.609	66.406	100.000
HGA11	100.000	63.248	60.061	60.849	100.000
HGA12	100.000	100.000	65.132	64.361	100.000
HGA13	100.000	76.757	74.386	74.382	100.000
HGA14	100.000	68.405	64.818	65.603	100.000
Mean	89.177	72.579	67.096	67.461	92.673

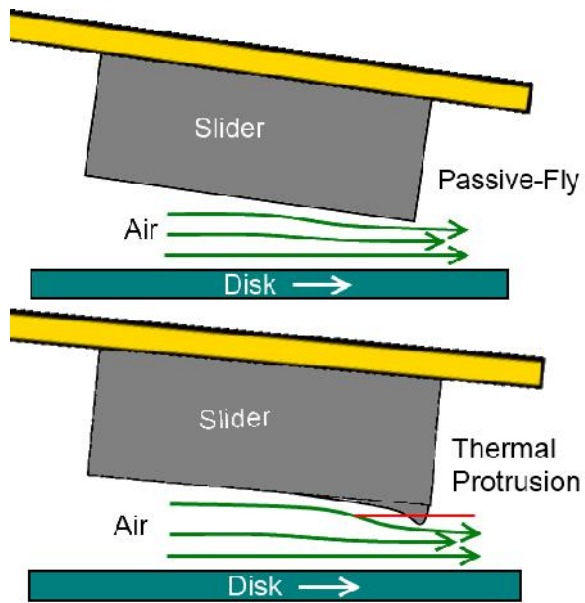
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

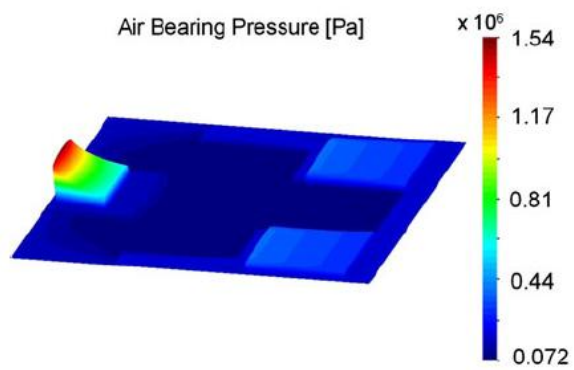
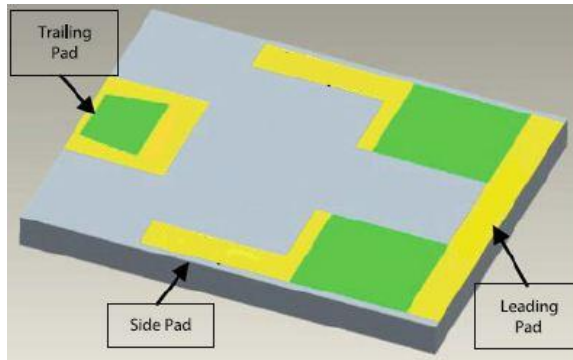






	Missed-Track Power (MTP)				
	ID	MID	MD	MOD	OD
HGA1	60.780	64.006	66.042	60.406	17.364
HGA2	33.623	69.222	57.823	67.228	17.367
HGA3	60.800	64.800	100.000	59.600	17.400
HGA4	77.200	70.800	100.000	45.700	5.090
HGA5	63.200	73.200	100.000	68.400	70.000
HGA6	70.817	76.818	100.000	68.392	9.188
HGA7	64.412	71.190	100.000	69.184	9.192
HGA8	29.564	65.214	65.622	64.774	21.440
HGA9	76.452	77.633	100.000	100.000	53.828
HGA10	60.005	68.793	100.000	68.418	9.189
HGA11	57.645	62.044	100.000	58.431	17.358
HGA12	62.775	71.555	100.000	68.756	13.280
HGA13	68.778	72.772	100.000	69.968	9.191
HGA14	63.999	68.010	100.000	67.620	9.189
Mean	60.718	69.718	92.106	66.920	19.934





4.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสไลเดอร์ที่กำลังยกตัวอยู่เหนือแผ่นดิสก์

จากการศึกษาเรื่องการออกแบบ ABS ของสไลเดอร์นั้น จะต้องออกแบบให้สไลเดอร์ยกตัวอยู่บนแผ่นดิสก์ โดยมีระยะห่างกับแผ่นดิสก์คงที่ ไม่ว่าจะสไลเดอร์จะยกตัวอยู่เหนือตำแหน่งใดบนแผ่นดิสก์ก็ตาม (Oscar J. Ruiz, 2009) ABS จะถูกออกแบบมาให้มีลักษณะไม่สมมาตร ซึ่งจะตอบสนองต่อแรงกระทำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านของอากาศที่ไม่เท่ากัน ชดเชยให้เกิดระยะห่างกับแผ่นดิสก์ที่ใกล้เคียงกัน โดยในขณะที่สไลเดอร์ยกตัวอยู่เหนือแผ่นดิสก์ที่โซน ID นั้น สไลเดอร์จะมีมุมบิดตัวไปจากแนวแท่งข้อมูลที่เป็นค่าลบ มีการตอบสนองต่อแรงกระทำของอากาศที่ไหลผ่านสไลเดอร์มากกว่าปกติ เมื่อตำแหน่งของสไลเดอร์เริ่มขยับจากโซน ID เข้าใกล้โซน MD นั้น มุมบิดตัวไปจากแนวแท่งข้อมูลของสไลเดอร์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเป็น 0 การตอบสนองต่อแรงกระทำที่เกิดจากอากาศจะเป็นปกติ และเมื่อสไลเดอร์ถูกขยับตำแหน่งจากโซน MD ไปทางโซน OD นั้น ค่ามุมบิดตัวไปจากแนวแท่งข้อมูลจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นค่าบวก ซึ่งสไลเดอร์จะตอบสนองต่อแรงกระทำของอากาศลดน้อยลง สาเหตุที่ต้องออกแบบให้สไลเดอร์ตอบสนองต่อแรงกระทำของอากาศที่ไหลผ่านได้ สไลเดอร์เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของสไลเดอร์เหนือแผ่นดิสก์นั้น ก็เพราะว่า แผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ใคร่ที่จะถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ซึ่งในผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้คือ 7200 รอบต่อนาที แต่เมื่อตำแหน่งของสไลเดอร์อยู่เหนือแผ่นดิสก์ที่รัศมีแตกต่างกัน ความเร็วเชิงเส้นของพื้นที่แผ่นดิสก์ที่เคลื่อนที่ผ่านได้ สไลเดอร์นั้นจะแปรเปลี่ยนเพิ่มขึ้นไปตามขนาดรัศมีของตำแหน่งเทียบจากศูนย์กลางแผ่นดิสก์ เมื่อพื้นที่ของแผ่นดิสก์เคลื่อนที่ผ่านได้ สไลเดอร์ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของอากาศที่ไหลผ่านได้ผิวหน้า ABS ของสไลเดอร์เคลื่อนที่เร็วขึ้น อากาศก็จะไหลผ่าน ABS ของสไลเดอร์มากขึ้น ส่งผลให้แรงกระทำต่อสไลเดอร์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้สไลเดอร์ มีการตอบสนองต่อแรงกระทำของอากาศที่แตกต่างกัน เมื่อมุมบิดตัวไปจากแนวแท่งข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง โดยสรุปก็เพื่อเป็นการชดเชยให้ระยะห่างของสไลเดอร์กับแผ่นดิสก์ในขณะที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน มีระยะที่คงที่ ใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง

ซึ่งจากข้อมูลข้างต้น การศึกษาได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับตัวทำความร้อนเพื่อให้หัวอ่านเขียนยื่นออกมาเข้าใกล้แผ่นดิสก์มากขึ้นจนตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยตัวตรวจวัด AEN นั้น การทดลองดังกล่าวโดยให้สไลเดอร์ยกตัวอยู่บนแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งต่างๆ จาก ID ออกไปถึง OD นั้น จะได้ค่ากำลังไฟฟ้า TDP ที่ใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง

แรงที่ผลักยกให้สไลเดอร์ลอยเหนือแผ่นดิสก์นั้น จะได้รับอิทธิพลมาจากความเร็วอากาศหรือความเร็วเชิงเส้นของพื้นที่แผ่นดิสก์ที่เคลื่อนที่ผ่านได้ สไลเดอร์ ที่มีตำแหน่งอยู่เหนือรัศมีใดๆ

ของแผ่นดิสก์ ความเร็วดังกล่าวจะเกิดจากการหมุนแผ่นดิสก์ให้มีความเร็วเชิงมุมใดๆ ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้ (ธีรยุทธเกียรติสง, 2553)

$$v = 2\pi R\omega \quad (4.1)$$

เมื่อ	v	คือ	ความเร็วของแผ่นดิสก์ได้ตำแหน่งของสไลเดอร์ (เมตรต่อวินาที)
	R	คือ	รัศมีของแผ่นดิสก์ได้ตำแหน่งของสไลเดอร์ (เมตร)
	ω	คือ	ความเร็วในการหมุนแผ่นดิสก์ (รอบต่อวินาที)

โดยการเกิดแรงยกตัวสไลเดอร์ลอยเหนือแผ่นดิสก์นั้น จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของแผ่นดิสก์ได้ตำแหน่งของสไลเดอร์ ดังสมการต่อไปนี้

$$F = \frac{1}{2} \rho A C_D v^2 \quad (4.2)$$

เมื่อ	F	คือ	ขนาดของแรงที่ผลักยกสไลเดอร์ขึ้น (นิวตัน)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดที่อากาศปะทะกับสไลเดอร์ (ตารางเมตร)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	C_D	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ที่ความเร็วอากาศปะทะกับรูปทรงหน้าสัมผัส

จากสูตรในการคำนวณหาความเร็วแผ่นดิสก์ได้ตำแหน่งของสไลเดอร์ สามารถนำมาคำนวณเปรียบเทียบความเร็วแผ่นดิสก์ได้ตำแหน่งของสไลเดอร์ที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้ทั้ง 5 ตำแหน่ง ดังแสดงให้เห็นใน

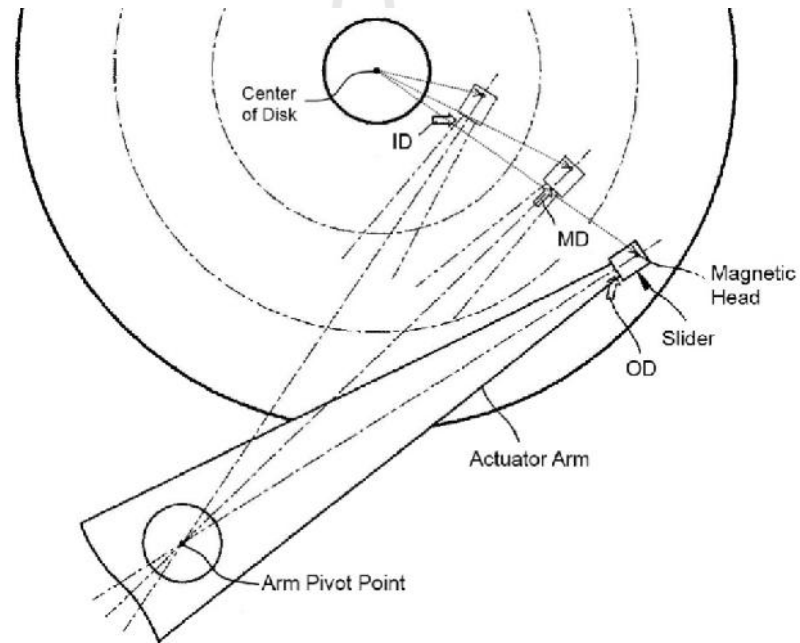
ตารางที่ 4.3 แสดงรัศมี, มุมบิดตัวไปจากแนวการไหลของอากาศ และความเร็วของแผ่นดิสก์ได้
ตำแหน่งของสไลเดอร์ ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้สำหรับการทดลองเก็บข้อมูล

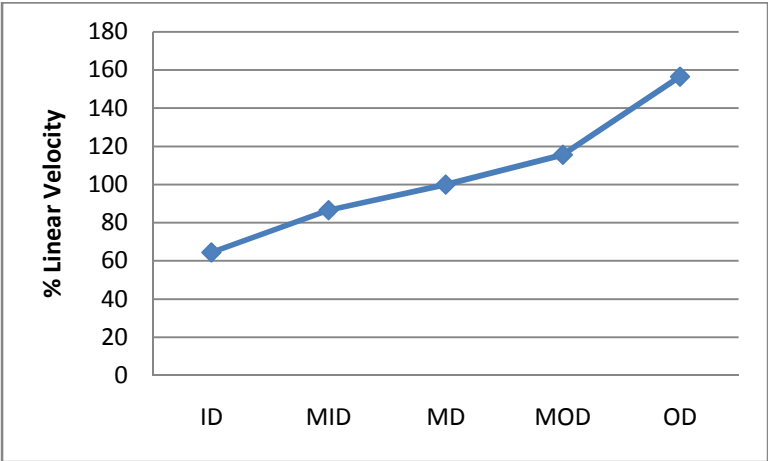
ชื่อตำแหน่งสไลเดอร์	รัศมี (นิ้ว)	มุมบิดตัว (องศา)	ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)
Inner Diameter (ID)	0.77	-15.8	14.076
Middle-Inner Diameter (MID)	0.9868	-5	18.898
Middle Diameter (MD)	1.1404	0	21.840
Middle-Outer Diameter (MOD)	1.3178	5	25.237
Outer Diameter (OD)	1.7842	16.13	34.169

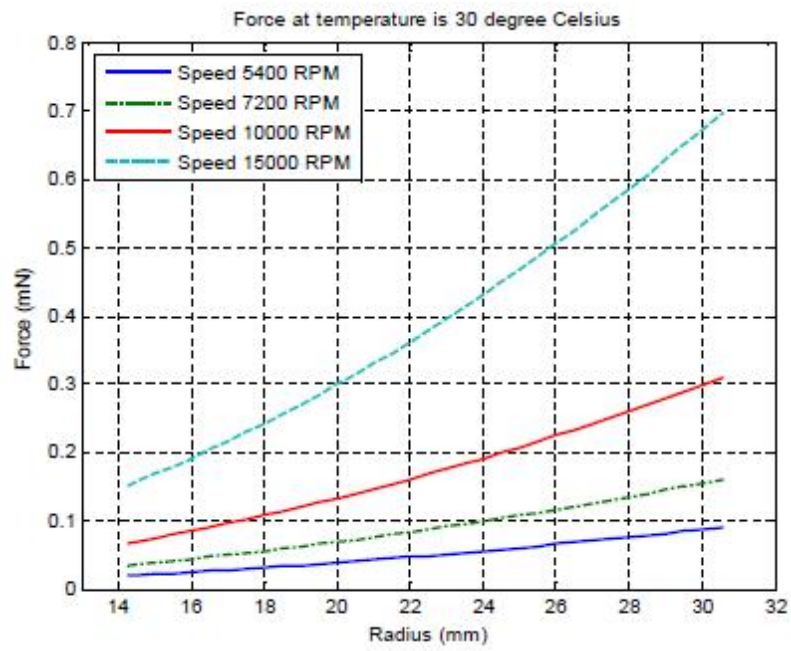
โดยความเร็วในการหมุนแผ่นดิสก์ในการทดลองของงานวิจัยนี้ คือ 7200 รอบต่อนาที หรือ
120 รอบต่อวินาที

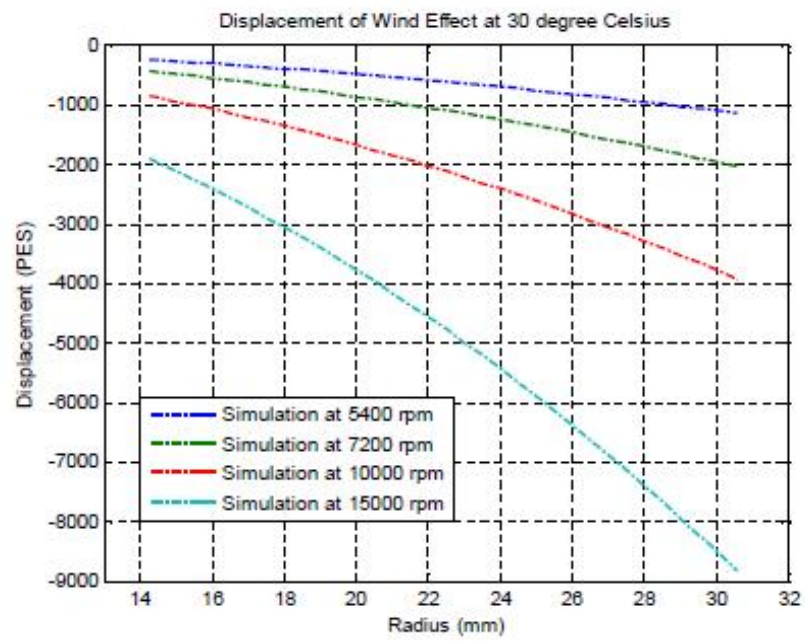


ชื่อตำแหน่งสไลเดอร์	รัศมี (นิ้ว)	มุมบิดตัว (องศา)	ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)
Inner Diameter (ID)	0.77	-15.8	14.076
Middle-Inner Diameter (MID)	0.9868	-5	18.898
Middle Diameter (MD)	1.1404	0	21.840
Middle-Outer Diameter (MOD)	1.3178	5	25.237
Outer Diameter (OD)	1.7842	16.13	34.169

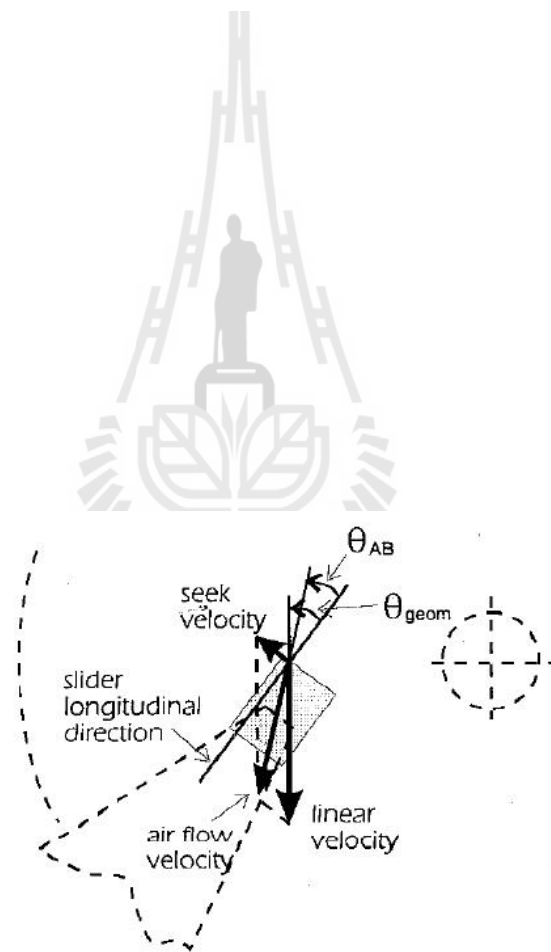


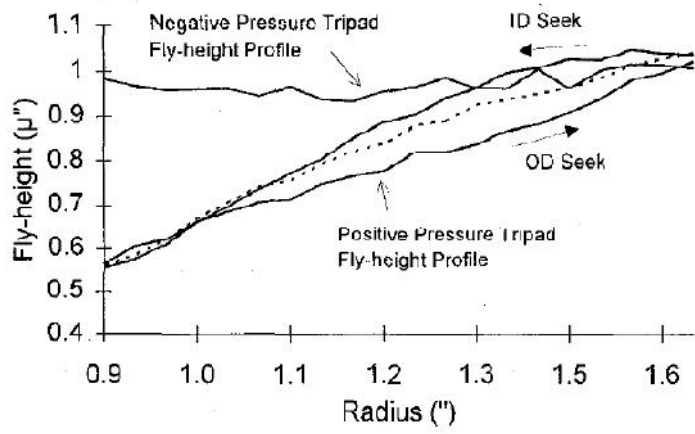
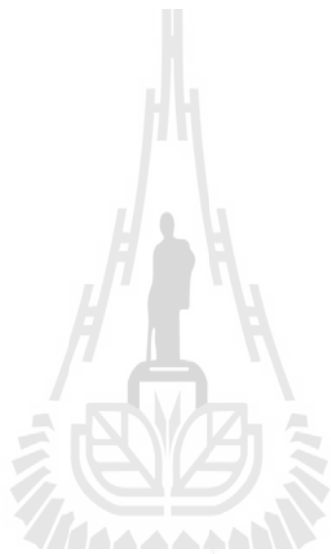






$$F_{off-track} = F \sin \theta_{AB}$$





4.7 สรุป

การสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์แบบหมุนแรงจะเริ่มเกิดขึ้น เมื่อหัวอ่านเขียนถูกดันขึ้นออกมาด้วยระยะ 14.6 นาโนเมตร หรือเมื่อตัวทำความร้อนได้รับกำลังไฟฟ้ามากกว่า 60 มิลลิวัตต์ ในแต่ละตำแหน่งของสไลเดอร์บนแผ่นดิสก์ ยกเว้นที่ตำแหน่ง OD นั้นจะตรวจพบการสัมผัสกัน ซ้ำกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ คือ จะตรวจพบเมื่อหัวอ่านเขียนยื่นออกมาด้วยระยะ 19.5 นาโนเมตร หรือเมื่อตัวทำความร้อนได้รับกำลังไฟฟ้ามากกว่า 80 มิลลิวัตต์ เนื่องจาก ที่ตำแหน่งดังกล่าว จะมีความเร็วอากาศที่ไหลผ่านได้สไลเดอร์ อันเกิดจากความเร็วของแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งได้สไลเดอร์นั้น มีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ ลักษณะการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์นั้น จะพิจารณาได้เป็นสามช่วง ได้แก่ ช่วงแรกคือช่วงที่หัวอ่านเขียนเริ่มมีการสัมผัสกับชั้นสารหล่อลื่นของแผ่นดิสก์ จะเกิดการกระดอนของหัวอ่านเขียน สัญญาณจากตัวตรวจวัด AE จะมีเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ช่วงที่สองจะเป็นช่วงที่หัวอ่านเขียนมีการสัมผัสกับชั้นสารหล่อลื่นของแผ่นดิสก์แบบสนิท สัญญาณจากตัวตรวจวัด AE จะมีขนาดเพิ่มขึ้นแบบค่อยเป็นค่อยไป และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงที่หัวอ่านเขียนมีการสัมผัสกับชั้นป้องกันการสึกหรอของแผ่นดิสก์ สัญญาณจากตัวตรวจวัด AE จะมีขนาดเพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใด เมื่อสไลเดอร์อยู่ที่ตำแหน่ง ID และ OD นั้น จะมีช่วงการสัมผัสแบบค่อยเป็นค่อยไปกว้างขึ้น

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์นั้น ถูกพิจารณาจากค่าผลตอบสนองจุดยอดในโดเมนความถี่ของสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด LDV เป็นการเคลื่อนที่ที่มีความถี่ 50 กิโลเฮิร์ต เริ่มเกิดขึ้นเมื่อหัวอ่านเขียนถูกดันขึ้นออกมาเป็นระยะใกล้เคียงที่ตัวตรวจวัด AE เริ่มตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ หัวอ่านเขียนจะเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ด้วยขนาดที่มากกว่า 0.25 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ เมื่อสไลเดอร์อยู่ที่ตำแหน่ง MD, MID และ MOD ส่วนที่ตำแหน่ง ID และ OD นั้น การเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่เกินค่ากำหนด

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแท่งข้อมูล ถูกพิจารณาจากค่าผลตอบสนองจุดยอดในโดเมนความถี่ของสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด LDV อีกตัวหนึ่ง เป็นการเคลื่อนที่ที่มีความถี่ 19 กิโลเฮิร์ต โดยขนาดความรุนแรงของการเคลื่อนที่ในทิศทางนี้ จะแปรผันตามค่ามุมบิดตัวของสไลเดอร์ไปจากแนวการหมุนแผ่นดิสก์ การเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางนี้ มีค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ร้อยละ 1 ของความกว้างของแท่งข้อมูล คือ 1.076 นาโนเมตร เมื่อสไลเดอร์ยังมีค่ามุมบิดตัวเพิ่มขึ้นไม่ว่าในทิศทางใด ระยะที่หัวอ่านเขียนสามารถยื่นออกมาได้แล้วไม่เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางนี้ที่เกินค่ากำหนด จะยิ่งน้อยลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้จะศึกษาทดลองเก็บข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแทร็กข้อมูล รวมไปถึงการตรวจจับการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ เมื่อมีการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ตั้งแต่หัวอ่านเขียนอยู่ที่ตำแหน่งปกติ จนกระทั่งหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์เกิดการสัมผัสกัน ในแต่ละตำแหน่งที่สไลเดอร์ยกตัวอยู่บนเนื้อแผ่นดิสก์ ข้อมูลที่เก็บมาจากคู่ชิ้นส่วน HGA และแผ่นดิสก์ จำนวน 15 คู่ ได้ถูกนำมาแปลผล วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลองจากผลการทดลองเหล่านั้น สามารถสรุปผลการวิจัยออกมาได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ความเร็วอากาศผ่านได้สไลเดอร์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนรัศมีของตำแหน่งสไลเดอร์ที่ยกตัวอยู่บนแผ่นดิสก์ แรงกระทำจากอากาศต่อการยกตัวของสไลเดอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลกับระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ โดยเฉพาะเมื่อในขณะที่หัวอ่านเขียนถูกดันขึ้นออกมาขวางทางการไหลของอากาศผ่านได้สไลเดอร์ ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์จะเพิ่มขึ้น

5.1.2 เมื่อสไลเดอร์ยกตัวลอยอยู่บนแผ่นดิสก์ โดยอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้สไลเดอร์มีมุมบิดตัวไปจากแนวการหมุนของแผ่นดิสก์ ไม่ว่าจะเป็นมุมที่มีค่าลบหรือค่าบวก ทิศทางการไหลของอากาศจะมีมุมกระทบกับสไลเดอร์ แต่อย่างไรก็ตาม สไลเดอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย มี ABS แบบความดันติดลบ ทำให้ได้รับอิทธิพลจากมุมกระทบของอากาศเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อหัวอ่านเขียนมีการยื่นตัวออกมาขวางทางการไหลของอากาศผ่านได้สไลเดอร์ หรือหัวอ่านเขียนถูกดันขึ้นออกมาสัมผัสกับชั้นสารหล่อลื่นของแผ่นดิสก์แบบมีมุม จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางแนวแทร็กข้อมูลที่รุนแรงขึ้นตามขนาดของมุมบิดตัว

5.1.3 ในการยื่นหัวอ่านเขียนออกไปจากสไลเดอร์เข้าหาแผ่นดิสก์ จนกระทั่งตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์นั้น จะเห็นลักษณะการสัมผัสกันแบ่งเป็นสามช่วง ได้แก่ ช่วงแรกคือช่วงที่หัวอ่านเขียนเริ่มมีการสัมผัสกับชั้นสารหล่อลื่นของแผ่นดิสก์ จะเกิดการกระดอนของหัวอ่านเขียน ช่วงที่สองจะเป็นช่วงที่หัวอ่านเขียนมีการสัมผัสกับชั้นสารหล่อลื่นของแผ่นดิสก์แบบสนิทขึ้น และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงที่หัวอ่านเขียนมีการสัมผัสกับชั้นป้องกันการสึก

หรือของแผ่นดิสก์ ซึ่งมีความแข็งสูง สัญญาณของตัวตรวจวัด AE จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด ที่ช่วงการสัมผัสนี้ ซึ่งใช้เป็นเงื่อนไขเพื่อจบการทดลองของชิ้นส่วน HGA ที่แต่ละตำแหน่ง

5.1.4 เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถใช้ในการตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนบนแผ่นดิสก์ได้ในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ และในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางแนวแท่งข้อมูล โดยจะตรวจวัดหัวอ่านเขียนในระหว่างที่มีกระบวนการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ เพื่อหาระยะที่เหมาะสมในการอ่านเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งการยกตัวของสไลเดอร์เหนือแผ่นดิสก์ โดยในชิ้นส่วน HGA และแผ่นดิสก์ของผลิตภัณฑ์ ซีเกท บาราคูดา ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ จะมีค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน เพื่อยื่นหัวอ่านเขียนเข้าใกล้แผ่นดิสก์ ที่ตำแหน่ง ID, MID, MD, MOD และ OD ไม่เกิน 60.7, 69.7, 67.1, 65.4 และ 19.9 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งถ้ามีการนำเครื่องมือหรือวิธีการใช้ในงานวิจัยนี้ ไปแก้ปัญหาดตามข้อเสนอแนะ แล้วสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมของหัวอ่านเขียน ผ่านการแปลผลและวิเคราะห์ผล ทำให้ได้ข้อมูลป้อนกลับให้กับงานส่วนการออกแบบและพัฒนา ABS สไลเดอร์ ซัสเพนชัน ชิ้นส่วน HGA และแผ่นดิสก์ ของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ตรวจพบว่ามีข้อผิดพลาดในส่วนของแผ่นสปริงจับยึดชิ้นส่วน HGA เข้ากับแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งทำให้ฐานซัสเพนชันของชิ้นส่วน HGA สามารถบิดตัวได้รอบแกนยอว์เล็กน้อย ส่งผลให้หัวอ่านเขียนมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นในทิศทางขนานกับแผ่นดิสก์แบบตัดขวางกับแนวแท่งข้อมูลได้ ข้อมูลการเคลื่อนที่ในทิศทางดังกล่าวจากการทดลองจึงมีความผิดพลาดเกิดขึ้นแต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ ได้เพิกเฉยข้อมูลจากการทดลองในชิ้นส่วน HGA ที่ตรวจพบว่ามีข้อผิดพลาดดังกล่าวเกิดขึ้นดังนั้นจึงได้ขอเสนอแนะว่าควรมีการแก้ไขปรับปรุงวิธีการจับยึดชิ้นส่วน HGA เข้ากับแกนมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งให้มีความมั่นคง จะทำให้ข้อมูลที่ได้อาจจากการทดลองกับชิ้นส่วน HGA มีความถูกต้องแม่นยำขึ้น

5.2.2 ควรมีการเปลี่ยนวิธีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน วิธีการอ่านและคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนได้รับจริง และวิธีการเก็บข้อมูลจากตัวตรวจวัด ให้มีความเป็นเวลาจริง (Real Time) เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ตัวทำความร้อน เพิ่มขึ้นทีละระดับ ก่อนอ่านและคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนได้รับ และมีการหยุดเพื่อเก็บข้อมูลจากตัวตรวจวัดในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวทำ

ความร้อนทำให้การทำงานของกระบวนการ TPTP มีความไม่ต่อเนื่อง ข้อมูลที่เก็บมาได้จึงอาจมีความผิดพลาดจึงเสนอแนะให้ควรเปลี่ยนไปใช้วิธีการควบคุมให้อุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้า ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบเพิ่มขึ้นเป็นทางลาด (Ramp) เริ่มต้น 0 โวลต์ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนกว่าจะตรวจพบการสัมผัสกันของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ ซึ่งในขณะเดียวกัน ก็ต้องทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนได้รับจริง เก็บเป็นข้อมูลไปใช้ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนได้รับ นอกจากนี้ ในเวลาเดียวกัน ก็จะต้องสุ่มเก็บตัวอย่างสัญญาณจากตัวตรวจวัด ซึ่งหลังจากการทดลองเสร็จ จึงจะนำข้อมูลที่ดังกล่าวที่เก็บมาได้มาแปรผล เพื่อนำไปเปรียบเทียบ เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนได้รับในเวลาใดๆ กับสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัดในเวลานั้นๆ ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลและสรุปผลต่อไป

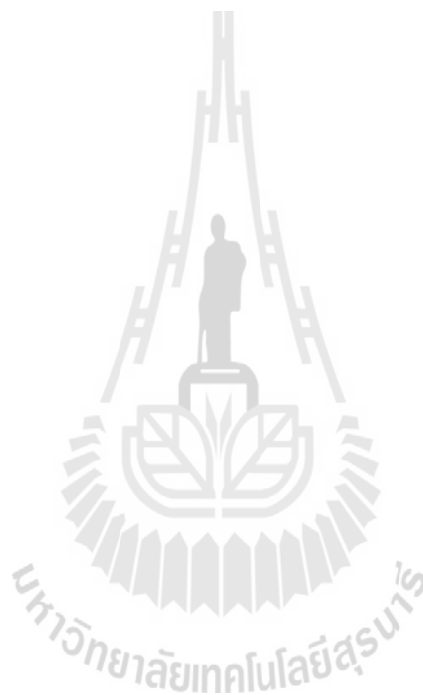
5.2.3 ในการทดลองของงานวิจัยนี้ ทำการเก็บสัญญาณจากตัวตรวจวัด ด้วยอัตราการสุ่มสัญญาณ 20,000 ตัวอย่าง ต่อการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าให้ตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนแต่ละระดับ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยกำลังสองได้เป็นระดับสัญญาณ V_{RMS} ของตัวตรวจวัดที่ระดับกำลังไฟฟ้าใดๆ 1 ค่า ดังนั้น ความละเอียดของข้อมูลจะถูกเฉลี่ย ทำให้ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดสูญหายไป ดังนั้น จึงควรมีการเก็บบันทึกสัญญาณจากตัวตรวจวัดในลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการสุ่มจากสัญญาณตัวตรวจวัดแบบคิบบๆ ไปเก็บบันทึกคู่กับเวลาจริง รวมถึงมีการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ตัวทำความร้อนได้รับ ณ เวลานั้นๆ ด้วย เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณคิบบที่ได้จากตัวตรวจวัด เพื่อให้ข้อมูลมีความละเอียดเพิ่มขึ้น สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดของสัญญาณจากตัวตรวจวัดได้ดีขึ้น ทำให้ผลพฤติกรรมของหัวอ่านเขียนที่ตรวจวัดได้มีความถูกต้องแม่นยำขึ้น

รายการอ้างอิง

- ธีรยุทธ์เกลี้ยงสง (2553). **ระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนของฮาร์ดดิสก์เนื่องจากผลกระทบจากลม.**วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.: 1-55.
- ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์ (2550). **การประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัลเล่ม 1 : พื้นฐานช่องสัญญาณอ่าน-เขียน.**ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.: 1-9.
- Andrei Khurshudov and Peter Ivett (2003).**Head-Disk Contact Detection in the Hard-Disk Drives.** Wear. 255:1314-1322.
- Bernhard Knigge, TusharSuthar and PeterBaumgart (2006).**Friction, Heat and Slider Dynamics During Thermal Protrusion Touchdown.**IEEE Transactions on Magnetics.42(10):2510-2512.
- George Clifford and Dick Heme (1989).**An Air Bearing Minimizing the Effects of Slider Skew Angle.**IEEE Transactions on Magnetics.25(5): 3713-3715.
- Hani H. Nassifa, MayraiGindyb,and Joe Davis (2005).**Comparison of laser Doppler vibrometer with contact sensors for monitoring bridge deflection and vibration.**NDT & E International.38(3):213-218.
- JianfengXu, James D.,Kiely, Yiao-Tee Hsia, Frank E.,Talke (2009).**Effect of thermal pole tip protrusion and disk roughness on slider disk contacts.**Microsyst Technol. 15: 687-693.
- JianfengXu and Gang Sheng (2011).**Characterization of light contact in head disk interface with dynamic flying height control.**Microsyst Technol. 17(5-7): 1225-1230.
- JoergFritzsche, Hui Li, HaoZheng, Kensuke Amemiya, Frank E. Talke (2011). **The effect of air bearing contour design on thermal pole-tip protrusion.**Microsyst Technol. 17: 813-820.
- K., Miyake, T.,Shiramatsu, M., Kurita, H., Tanaka, M., Suk, and S., Saegusa (2007).**Optimized design of heaters for flying height adjustment to preserve performance and reliability.**IEEE Transactions on Magnetics.43(6):2235-2237.

- Liu, B., Yu, S.K., Zhou, W.D., Wong, C.H., and Hua, W. (2008). **Low Flying-Height Slider with High Thermal Actuation Efficiency and Small Flying Height Modulation Caused by Disk Waviness.** IEEE Transactions on Magnetics.44(1): 145-150.
- Liu,Bo and Soh, S.H. (1996).**Effects of Seeking Velocity on Air Bearing Skew Angle, Air Flow Speed and Flying Performance of Sliders with Different ABS Designs.** IEEE Transactions on Magnetics. 32(5): 3693-3695.
- Marchon, B., Saito, K., Wilson, B., and Wood, R. (2012).**The limits of the Wallace approximation for PMR recording at high areal density.** IEEE Transactions on Magnetics. 47(10): 3422-3425.
- Masaaki Matsumoto, Yoshinori Takeuchi, Hiroshi Agari, and Haruhide Takahashi (1994).**Design and Performance of Novel Air Bearing Slider.** IEEE Transactions on Magnetics.30(6): 4158-4160.
- QinghuaZeng, Chao-Hui Yang, SoramanyKa, and Ellis Cha (2011).**An Experimental and Simulation Study of Touchdown Dynamics.** IEEE Transactions on Magnetics.47(10):. 33433-3436.
- R.W., Wood, J., Miles, and T., Olson (2002).**Recording technologies for terabit per square inch systems.** IEEE Transactions on Magnetics.38(4):1711-1718.
- RokPrislan (2008).**Laser Doppler Vibrometry and Modal Testing**, University of Ljubljana.Faculty of Mathematics and Physics.: 3-15.
- Suping Song, Stoev, K., Dori Fang, Gan,Wuxing, Rudman, V., and Wang, J. (2005).**Pole tip protrusion of giant magnetic recording heads: Simulation and experimental verification.** Journal of Applied Physics.97(10): 10P303-10P303-3.
- Shiramatsu,T.,Kurita, M., Miyake, K. and Suk, M. (2006).**Drive-Integration of Active Flying-Height Control Slider with Micro Thermal Actuator.** IEEE Transactions on Magnetics.42(10):2513-2515.
- Thomas, Y.F., Liew, M.C., Chai, S.,Weerasooriya, and T.S., Low (1997). **Head-Disk Interaction of Proximity Sliders Studied by the Acoustic Emission Probe, the Dynamic Flying Height Tester and the Laser Doppler Vibrometer.** IEEE Transactions on Magnetics.33(5):3175-3177.
- Timothy, A.,Riener, Adrian, C.,Goding, and Frank, E., Talke (1988).**Measurement of Head/Disk Spacing Modulation using a two channel Fiber Optic Laser Doppler Vibrometer.** IEEE Transactions on Magnetics.24(6):2745-2747.

- Wang, L., Rudman, V., Dori Fang, Stoev, K., Wang, J., Sun, B. (2007). **Finite Element Analysis of Alternating Write-Current-Induced Pole Tip Protrusion in Magnetic Recording Heads.** IEEE Transactions on Magnetics. 43(6): 2217–2219.
- Yuki Shimizu and Junguo Xu (2006). **Two-Dimensional Flying-Height Modulation Mapping at HDD Drive Level.** IEEE Transactions on Magnetics. 42(10):2516-2518.



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา



รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Kongsong, P., Srisertpol, J. and Tongsonporn D. (2013). **A Study of Head-Disk Interaction in High Track Density Magnetic Recording System**, The 5th International Data Storage Technology Conference (DST-CON2013), The Sukosol Bangkok Thailand, 14-15 February 2013, pp. 48-49



A Study of Head-Disk Interaction in High Track Density Magnetic Recording System

Piyawat Kongsong¹, Jiraphol Srisertpol², Damrongsak Tongsonporn³

¹*Department of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology*
^{1,2}*111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand*

¹piyawat.kongsong@seagate.com

²jiraphol@sut.ac.th

³*Seagate Technology (Thailand)*

³*1627 Moo7 Teparuk Road, Tambol Teparuk, Muang District, Samutprakarn 10270, Thailand*

³damrongsak.tongsonporn@seagate.com

Abstract— To achieve higher track density in magnetic recording system or hard disk drive (HDD), adaptive flying-height (AFH) control using thermal protrusion of an active area close to read/write transducers by heating element was introduced. AFH control is very important when the minimum clearance between the magnetic recording head (slider) and disk reduce to a few nanometers. At that such critical proximity contact, head-disk interaction can occur that may cause flying instability and head/disk wear which effect to read/write ability. In this study, we did an experiment to investigate flying behavior of the slider head when protruding the reader/writer element close to disk surface. The acoustic emission (AE) sensor was used for detecting the contact of head and disk. The head movement behaviour in both vertical and off-track directions was measured using 2 Laser Doppler vibrometers (LDV). The experimental result shows that the off-track LDV can detect significantly the skew sensitivity. The head off-track at about a sector size vibration occur and can impact to read/write ability of data bits on the disk. The study of the linear velocity effect shows that the passive flying height increases significantly for higher linear velocity due to higher air pressure under the slider. However, this passive fly height change can be compensated by adaptive flying height control.

Keywords— Head-disk interaction, high track density, adaptive flying-height control, thermal protrusion, read/write ability

I. INTRODUCTION

The rapid growth of recording areal density in hard disk drives requires a reduction in the head-to-media spacing (HMS) for achieving higher bit density and narrower track pitch for higher track density. The current flying height is about 2-3 nanometres [1]. At a low head-disk clearance, variations of the flying height for a few angstroms have an influential effect on the recording performance. To achieve the target head-media clearance during writing and reading processes, a slider that consists of a heater near the read/write elements is applicable for adjusting the head-media clearance [2]. The heating generated in the heater induces head, especially close to an active area moves the read/write elements closer to the media [2], [3], [5]. At that such critical proximity contact, head-disk interaction can occur that may cause flying instability and head/disk wear which effect to read/write ability [4].

In this study, we did an experiment to investigate flying behavior of the slider head when protruding the reader/writer element close to disk surface at a variety of test conditions. The vertical and off-track movements of head were measured by 2 Laser Doppler vibrometers (LDV). The contact of head and disk was observed by an acoustic emission (AE) sensor to define zero clearance and protect head/disk wear. The goal of this research is to characterize the flying dynamic and stability of slider head with AFH control at different head-disk clearances. The information according to off-track and vertical movement behaviors can be used for a new design verification of air bearing surface, suspension, and head-disk mechanical in high density recording system.

II. EXPERIMENT SETUP

A. Equipment

The experiment was performed on a tester that is specifically designed for head-disk interaction (HDI) measurement. A schematic of the experiment is showed in Fig. 1. The disk is installed on the spin stand of the tester and the head gimbal assembly (HGA) is loaded into the figure. An AE sensor is mounted to the figure to detect a contact between head and disk and two LDV are installed on the tester to detect the slider dynamic movement in both cross-track and vertical (perpendicular to media plane) directions [6]. Both of them were setup the measurement in velocity mode with 5-mm/s/V resolutions. The signal generator is used to apply a controllable voltage/power to the heater circuit of the slider while the data acquisition board is acquiring the signals from AE sensor, vertical LDV sensor, off-track LDV sensor and the heater voltage with sampling rate of 1 M samples/s. [7]

B. Samples

In this study, a number of slider heads with identical Air-Bearing Surface (ABS) design and 3.5 disks were used. These slider heads have a passive flying height of about 8 nm on the spinning disk at 7200 RPM with the test condition given in the next section.

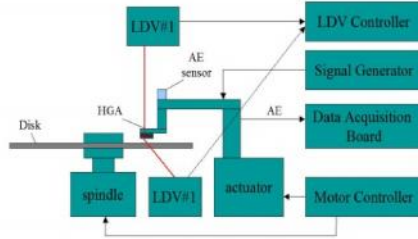


Fig. 1 Equipment schematic of the experiment

C. Test Methods

In order to control an accurate head-disk clearance, the relationship profile between the head-media spacing (HMS) change versus heater power was firstly measured at a series of incremental heating power. This HMS measurement technique is based on the Wallace-spacing equation. A second-order polynomial was used to fit the profile of measured data and it is a writer/reader protrusion rate for different clearance setups.

In this study, the head was loaded into the load/unload position at outer diameter of a spinning disk at 7200 RPM. Then, it moves to perform testing at different radii and skew angles given in table I. To understand slider-flying dynamics, the test was performed at various head-disk clearances at Inner-Diameter (ID), Middle-Diameter (MD) and Outer-Diameter (OD) of real HDD radial coordinate. Test conditions to examine skew angle sensitivity and linear velocity sensitivity are given in table II and table III, respectively. Before setting any specific clearances for the desired test, zero clearance will be measured by applying the heater power and reading back the response signal from AE sensor and force gauge. The response of AE sensor is used for determining a head-disk contact. It starts from coarse step approach, and then, continues on searching with fine step until the AE RMS response reached the defined threshold. Once zero clearance is defined, the heater power at multiple test clearances, for example at 2 nm, 1 nm and 0.5 nm, will be calculated.

TABLE I
RADIAL COORDINATE FROM REAL HDD

	Radius (in.)	Skew Angle (deg.)
ID	0.77	-15.8
MD	1.1404	0
OD	1.7842	16.13

TABLE II
SKEW ANGLES FOR SKEW ANGLE EFFECT TESTING

Test #	S1	S2	S3	S4	S5
Skew Angle (deg.)	-10	-5	0	5	10
Radius (in.)	1.1404				

TABLE III
RADIISES FOR RADIUS EFFECT TESTING

Test #	R1	R2	R3
Linear Velocity (inch/s)	747	860	993
Skew Angle (deg.)	10		

III. RESULT AND DISCUSSION

A. Response at Different Clearances

The experimental result shows that the signal response from AE sensor, vertical LDV sensor and off-track LDV sensor are higher when the clearance was reduced due to higher head-disk contact modulation. Fig. 2 shows AE signal response at 0.5 nm (Blue), 1 nm (green), 2 nm (red) clearances.

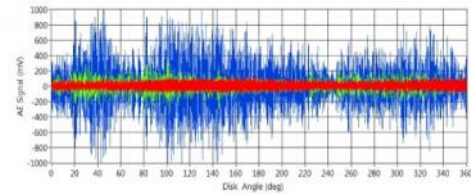


Fig. 2 AE signal at different clearances

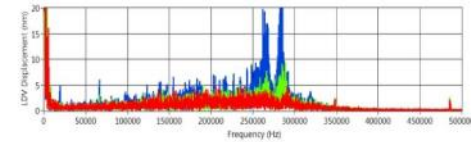


Fig. 3 Response of vertical LDV at MD

At MD condition, the vertical LDV shows wide range of response as show in fig. 3. Low frequency response at 240 Hz is caused by disk waviness (rps = 120 rev/s). For 50 kHz – 350 kHz band, the response from the vertical LDV gets significant higher when the clearance is smaller. The peak response occurs at 270 kHz and 280 kHz for both 0.5 nm and 1 nm clearances. The response of the vertical LDV is not sensitive to the clearance change at both ID and OD conditions. The response of the off-track LDV shows sensitivity to a clearance change at ID and MD as shown in fig. 4 (a) and (b). The important peaks are observed at 11.5 kHz and around 19 kHz. We ignored a few peaks at low frequency band (<4 kHz), which are harmonics of the center-shifted disk spinning. At MD, the response of the off-track LDV does not show significant sensitivity to a clearance change.

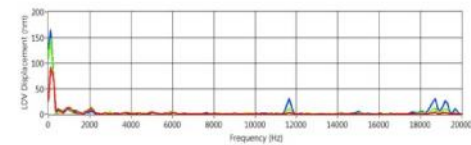


Fig. 4 (a) Off-track LDV response at ID

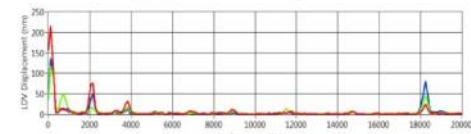


Fig. 4 (b) Off-track LDV response at OD

B. Skew Angle Effect

The measurement result at different skew angles (-10, 0, and 10 degrees) shows that the off-track LDV can detect significantly the skew sensitivity as shown in fig. 5. At the negative skew angle, there is some peak response at 19 kHz but it is suppressed when the skew angle is zero. At the positive skew angle, the peaks of the response are much higher than negative skew and there are 2nd and 3rd harmonics at 48 kHz and 67 kHz. The peaks are significant higher for lower head-disk clearance. The response from a vertical LDV does not show sensitivity of the skew angle.

Theoretically, different skew angles effect to the airflow and air pressure at the air-bearing surface significantly. A contact force at non-zero skew can be divided into down-track and cross-track directions. The sideways force in cross-track direction can move the head off the track.

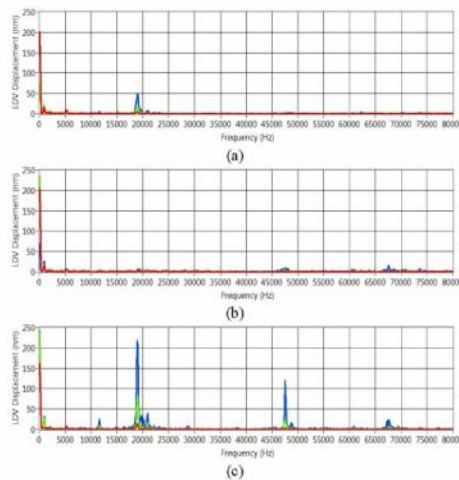
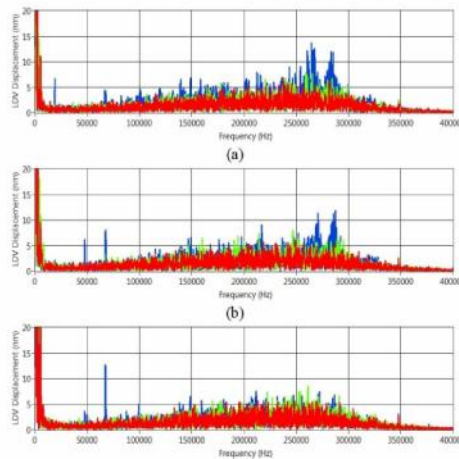


Fig. 5 Off-track LDV signal at skew angle (a) -10, (b) 0 and (c) 10 degrees



(c)
Fig. 6 Vertical LDV response at linear velocities of 747, 860 and 993 inches/s

C. Linear Velocity Effect

The study also measured the effect of the linear velocity to slider flying dynamics using the vertical LDV. The result shows that the passive flying height increases significantly for higher linear velocity. It is the effect from higher air pressure under the slider. In terms of dynamic movement, the vertical LDV does not show higher vibration for higher linear velocity as shown in fig. 6. However, the interaction between head and disk is higher for lower clearance.

IV. CONCLUSIONS

The experimental result shows that the signal response from AE sensor, vertical LDV sensor and off-track LDV sensor can detect the dynamic behaviour of head-disk interaction. The measurement result shows that the off-track LDV can detect significantly the skew sensitivity. The peak response at 19 kHz and its harmonics means the head off-track at about a sector size vibration occur and can impact to read/write ability of data bits on the disk. The study of the linear velocity effect shows that the passive flying height increases significantly for higher linear velocity due to higher air pressure under the slider. However, this passive fly height change can be compensated by adaptive flying height control. The dynamic movement of the head does not sensitive to higher linear velocity.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Seagate Technology (Thailand). The authors would like to thank many Seagate staffs for their helpful discussions.

REFERENCES

- [1] K. Aoki, et al., "Thermal pole-tip protrusion analysis of magnetic heads for hard disk drives", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 10, pp. 3043-3045, 2005.
- [2] M. Kurita, et al., "Flying-height reduction of magnetic-head slider due to thermal protrusion", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 10, pp. 3007-3009, 2005.
- [3] W. Yan, "Thermal pole tip protrusion finite element analysis of thin film inductive recording heads", *J. Appl. Phys.*, vol. 91, no. 10, pp. 7571-7573, 2002.
- [4] D. Tongsoptom, et al., "An experimental study of head instabilities in TMR sensors for magnetic recording heads with adaptive flying height", *IEICE Trans. Electron.*, vol. E91-C, no. 12, pp. 1958-1965, 2008.
- [5] B. Liu, et al., "Low Flying-Height Slider with High Thermal Actuation Efficiency and Small Flying-Height Modulation Caused by Disk Waviness", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 1, pp. 145-150, 2008.
- [6] S. K. Yu, et al., "Nonlinear Dynamics of Thermal Flying Height Control Sliders at Touch-Down", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, no. 7, pp. 1798-1804, 2011.
- [7] Qinghua Zeng, et al., "An Experimental and Simulation Study of Touchdown Dynamics", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, no. 10, pp. 3433-3436, 2011.

ประวัติผู้เขียน

นายปวิวัฒน์ คงสง เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ที่อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช เป็นบุตรของนายปรีชา คงสงและนางสุกาญดา คงสง สำเร็จการศึกษาระดับ มัธยมศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2547 จากโรงเรียนสตรีทุ่งสงจังหวัดนครศรีธรรมราชสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ เมื่อปี พ.ศ.2551 จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัด สงขลาหลังสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีได้สมัครเข้าทำงานที่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัดจังหวัดนครราชสีมา ในตำแหน่งวิศวกรซอฟต์แวร์ ของแผนกวิศวกรรมการผลิตขั้นสูง จนกระทั่งถึงปัจจุบัน

ปี พ.ศ. 2552 ได้รับพิจารณาสนับสนุนทุนการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรม แมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีภายใต้โครงการความร่วมมือกันในการพัฒนาบุคลากรทางด้านอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่าง3 หน่วยงาน ได้แก่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการนานาชาติด้านเทคโนโลยีการเก็บ บันทึกรหัสข้อมูลประจำปี พ.ศ.2556 (DSTCON-2013) เรื่องการศึกษาปฏิบัติการระหว่างหัวอ่านเขียนกับ แผ่นดิสก์ของระบบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบความจุสูง