

การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

นายอาทิตย์ บุญสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

**ANALYSIS OF HEAD DISK CLEARANCE DUE TO
VARIANCE OF TEMPERATURE IN
HARD DISK DRIVE TESTING PROCESS**

Anat Boonsawat

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
ในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ปภากร พิทยชวาล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อาณัติ บุญสวัสดิ์ : การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (ANALYSIS OF HEAD DISK CLEARANCE DUE TO VARIANCE OF TEMPERATURE IN HARD DISK DRIVE TESTING PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิระพล ศรีเสริฐผล, 70 หน้า.

การกำหนดระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์มีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การเพิ่มพลังงานไฟฟ้าทำให้หัวอ่านเกิดการยืดตัวออกเพื่ออ่านและเขียนข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การกำหนดพลังงานไฟฟ้าเป็นการกำหนดระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาวิธีการกำหนดระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งด้านใน ด้านนอก และตรงกลางของแผ่นดิสก์ได้ถูกต้อง โดยศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งกับวิธีการอ่านสัญญาณอ่านกลับที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาพบว่า การกำหนดระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับจะให้ประสิทธิภาพในการกำหนดระยะห่างดีกว่าวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ ทำให้ได้ความจุของแผ่นดิสก์ที่มีจำนวนมากกว่า และพบว่าการกำหนดระยะห่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2555

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ANAT BOONSAWAT : ANALYSIS OF HEAD DISK CLEARANCE DUE
TO VARIANCE OF TEMPERATURE IN HARD DISK DRIVE TESTING
PROCESS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. JIRAPHON SRISERTPOL,
Ph.D. 70 PP.

THERMAL FLYING HEIGHT/WALLACE SPACING LOSS/POSITION ERROR
SIGNAL/AMPLITUDE RATIO/READBACK SIGNAL/HEAD DISK CONTACT
PROCESS

The thermal flying-height control (TFC) is important in the efficiency of hard disk drive. The head was protruded to disk from heater power increasing. The objective of thesis is study to accurate clearance for working fly height at inner zone, outer zone and medium zone of disk. This thesis is study and compare head disk clearance by the Position Error Signal (PES) and Read/back signal process as 25 and 50 degree Celsius.

The results of Read/back signal show more efficiency than Position Error Signal at medium zone for high areal density. The clearance of 50°C use heater power less than 25°C.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดรวมถึงการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณบริษัท ซีเกตเทคโนโลยีประเทศไทย จำกัด (Seagate Thailand) ที่ให้ความสนับสนุนสถานที่ทำการวิจัยและทุนในการวิจัย รวมถึง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ดร.ปฏิวัติ กมลเพชร ที่ได้ให้คำปรึกษาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในเรื่องเทคโนโลยีการเขียนอ่านในฮาร์ดดิสก์ไอดีฟ รวมถึงพี่อภิชัย นาทองบ่อ ที่ให้คำแนะนำและแนะแนวทางในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณนายบัณฑิต ดวงชาตม นายสุวรรณ สวัสดิ์พีระ และเพื่อนร่วมงานแผนก HDIG บริษัท ซีเกตเทคโนโลยี ที่ให้การช่วยเหลือในเรื่องการใช้ฟังก์ชันของเครื่องมือวัดและการจัดหาอุปกรณ์ และขอขอบคุณนางสาวสิริมา พิณเพียงจันทร์ และนักศึกษาปริญญาโทแลปControl SUT ที่คอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้

ท้ายที่สุดนี้สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ บิดา มารดา และน้องชาย อันเป็นที่รักยิ่งที่ได้ให้ความหวังและกำลังใจเสมอมา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ทั้งในเรื่องวิชาการและเรื่องการทำงานแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

อานัติ บุญสวัสดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปในฮาร์ดดิสก์ขั้นพื้นฐาน	4
2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ	5
2.2.1 ส่วนประกอบของ Head Stack Assembly	5
2.2.2 หัวอ่าน-เขียน	6
2.2.3 แผ่นจานแม่เหล็กหรือดิสก์ (Platters or Disk)	8
2.2.4 มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor)	9
2.3 หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์	9
2.4 เทคโนโลยีการกำหนดระยะเวลาการบินของหัวอ่าน	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1	การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อน ของตำแหน่ง.....	13
2.4.2	การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ	18
2.4.3	การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT)	23
2.5	ปัญหาจากหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์.....	28
3	เครื่องมือและวิธีดำเนินงานวิจัย	29
3.1	ข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไคฟ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3	ขั้นตอนการออกแบบการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณคลาดเคลื่อน ของตำแหน่ง	31
3.4	การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ.....	32
3.4.1	การหาระยะห่างด้วยสมการ Wallace	33
3.4.2	วิธีการหา Delta FFT กับสัญญาณอ่านกลับด้วย Oscilloscope.....	34
3.5	ขั้นตอนการเปรียบเทียบการหาระยะห่างระหว่างวิธีอ่านสัญญาณ ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งกับวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ	35
3.6	การหาความสัมพันธ์ของระยะห่างที่มีผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง	36
4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	37
4.1	การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง.....	37
4.1.1	ผลการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อน ของตำแหน่ง	38
4.1.2	การวิเคราะห์ผลการวัดระยะห่างด้วยวิธี PES	40
4.2	การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ.....	41
4.2.1	ผลการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ	41
4.2.2	ผลของการอ่านสัญญาณด้วย Delta FFT	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการวัดระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ.....	48
4.3 การเปรียบเทียบการหาระยะห่างระหว่างวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อน ของตำแหน่งกับวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ	50
4.4 การหาความสัมพันธ์ของระยะห่างที่มีผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง	52
4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	54
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	59
ภาคผนวก ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	64
ประวัติผู้เขียน	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	ค่า SD และ % RSD ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียสด้วยวิธี dPES..... 40
4.2	ค่า SD และ % RSD ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียสด้วยวิธี Readback signal 50
4.3	ค่า F_{cal} (S_1^2/S_2^2) ที่ได้จากการคำนวณ 52
4.4	ระยะห่างที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียสที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ ด้วยวิธี Read/back signal..... 53



สารบัญรูป

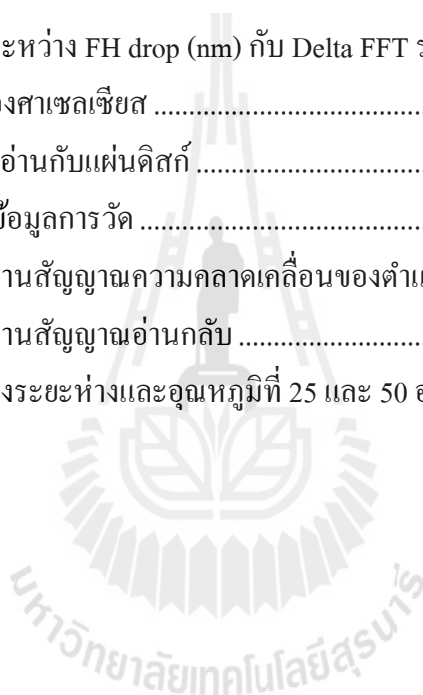
รูปที่	หน้า
2.1 ฮาร์ดดิสก์ไต่ฟขนาด 3.5 นิ้ว.....	4
2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์	5
2.3 ส่วนประกอบ Head Stack Assembly	6
2.4 หัวอ่าน - เขียนแบบแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Head).....	7
2.5 หัวอ่าน - เขียนแบบ Thin-film Inducted Head	7
2.6 หัวอ่าน - เขียนแบบ Giant Magneto-Resistive Head.....	8
2.7 Platters และ Spindle Motor	9
2.8 หลักการทำงานโดยทั่วไปของฮาร์ดดิสก์	10
2.9 (ก) ระยะห่างของหัวอ่านก่อนป้อนพลังงานให้ความร้อน (ข) ระยะห่างของหัวอ่านในขณะที่ป้อนพลังงานให้ความร้อน	11
2.10 ลักษณะการบินของหัวอ่านเมื่อใช้งาน	12
2.11 ส่วนประกอบข้อมูลทางเซอร์โว.....	13
2.12 การวางตัวของ burst A, B, C and D	13
2.13 แสดงรูปแบบของสัญญาณ	14
2.14 แสดงรูปแบบของสัญญาณ in-phase PES และ quadrature PES	15
2.15 รูปแบบการทำงานของ การหา Position Error Signal	15
2.16 (ก) ลักษณะวางตัวของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งใดๆ (ข) ลักษณะวางตัวของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่ง 0 องศา.....	16
2.17 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลของ Servo ในแผ่นดิสก์	17
2.18 แบบ one degree of freedom ของหัวอ่าน.....	18
2.19 ช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์	19
2.20 สัญญาณต้นฉบับของฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่ของ $x(t)$	25
2.21 การเทียบขนาดสัญญาณชายนกับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงาน สัญญาณคลื่นชายนกับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วย คลื่นชายนที่มีความถี่เดียวกันและมีขนาดมากกว่า 4 เท่า.....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 รูปคลื่นชานซ์สองคลื่น ณ ความถี่ 1 เท่า และ 3 เท่า ซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับสัญญาณต้นฉบับและทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น.....	27
2.23 คลื่นชานซ์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่และขนาดต่าง ๆ กันนำมารวมกันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมต้นฉบับเดิม.....	27
2.24 สมการอนุกรมฟูเรียร์ที่ชี้แทนสัญญาณแรนดอม	27
2.25 ตัวอย่างหัวอ่านสัมผัสแผ่นดิสก์อย่างรุนแรง	28
2.26 ตัวอย่างสัญญาณมีปัญหา Modulation.....	28
3.1 ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบ	30
3.2 Lecroy wavepro 7300A Oscilloscope	30
3.3 Disk Drive Thermal Conditioner model K49	31
3.4 หลักการทำการทดลองด้วยวิธี Position Error Signal.....	32
3.5 หลักการทำงานด้วยวิธี Readback Signal	34
3.6 Amplitude Voltage (mV) ของสัญญาณอ่าน	34
3.7 Delta FFT ในขณะที่มีการป้อนกระแสเข้าสู่หัวอ่าน	35
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT Magnitude กับ Frequency (kHz)	38
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Heater DAC กับ dPES	38
4.3 ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์.....	39
4.4 ค่าการเบี่ยงเบนข้อมูลการวัด.....	40
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์เดียวกัน	41
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง FH Drop กับ Heater Power ที่ 25 องศาเซลเซียส	42
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง FH Drop กับ Heater Power ที่ 50 องศาเซลเซียส	43
4.8 ลักษณะของ pkp trend เมื่อหัวอ่านสัมผัสแผ่นดิสก์	44
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT pkp ที่ 25 องศาเซลเซียส.....	45
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT pkp ที่ 50 องศาเซลเซียส.....	45
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Heater Power กับ FH Drop ระหว่างหัวอ่านตัวที่ 1 และ 2 ที่ 25 องศาเซลเซียส	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Heater Power กับ FH Drop ระหว่างหัวอ่าน ตัวที่ 1 และ 2 ที่ 50 องศาเซลเซียส	47
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT ระหว่างหัวอ่าน ตัวที่ 1 และ 2 ที่ 25 องศาเซลเซียส	48
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT ระหว่างหัวอ่าน ตัวที่ 1 และ 2 ที่ 50 องศาเซลเซียส	48
4.15 ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์	49
4.16 ค่าการเบี่ยงเบนของข้อมูลการวัด	50
4.17 ระยะห่างวัดด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง	51
4.18 ระยะห่างวัดด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ	51
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและอุณหภูมิที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส	54



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HDI	=	Head Disk Interface
PES	=	Position Error Signal
FFT	=	Fast Fourier Transform
HDD	=	Hard disk drive
HSA	=	Head Stack Assembly
HGA	=	Head Gimbal Assembly
VCM	=	Voice Coil Motor
PCBA	=	Print Circuit Board Assembly
TFC	=	Thermal fly-height control
RPM	=	Revolutions per minute
FH	=	Fly-Height
kHz	=	Kilo hertz
nm	=	nanometer
mW	=	milliwatt
C	=	องศาเซลเซียส
mV	=	millivolt
DOF	=	Degree OF Freedom
DAC	=	Digital to Analog Converter
dB	=	เดซิเบล
λ	=	ความยาวคลื่น
SD	=	Standard Deviation
RSD	=	Relative Standard Deviation
dPES	=	delta Position Error Signal

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

เทคโนโลยีบันทึกข้อมูลผ่านแผ่นแม่เหล็กถูกพัฒนาตั้งแต่มีการคิดค้นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวแรกในปี ค.ศ. 1956 พื้นที่ในการบันทึกข้อมูลถูกปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลงในขณะที่ความจุของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น การกำหนดระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์มีความสำคัญอย่างมากในเรื่องการคำนวณพื้นที่ความจุของข้อมูลเชิงเส้นในเทคโนโลยีบันทึกข้อมูลด้วยแผ่นแม่เหล็ก เนื่องจากในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะทำให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในแต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในปัจจุบันหัวอ่านทุกตัวจะถูกกำหนดระยะห่างในขณะใช้งานที่เท่ากันประมาณ 2 nm เพื่อให้ได้ขนาดความจุตามต้องการซึ่งระยะห่างในขณะใช้งานจะถูกกำหนดได้ด้วยเทคโนโลยีการควบคุมความร้อน ระยะห่างในการใช้งานจะต้องมีความแม่นยำเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์อย่างรุนแรง (HDI) หรือเกิดการเขียนอ่านข้อมูลที่มีผิดพลาดเมื่อใช้ไปงานในระยะยาว เนื่องจากการเขียนหรืออ่านข้อมูลทำได้โดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับหัวอ่านทำให้หัวอ่านร้อนขึ้นหัวอ่านก็จะยื่นเข้าไปใกล้แผ่นดิสก์และทำการเขียนหรืออ่านข้อมูลในระยะห่างที่ถูกกำหนดไว้ หลังจากนั้นเมื่อทำการเขียนหรืออ่านข้อมูลที่ระยะห่างที่กำหนดเสร็จแล้ว หัวอ่านจะปิดการป้อนพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้หัวอ่านกลับไปที่ระยะห่างเริ่มต้นการที่หัวอ่านเข้าไปใกล้แผ่นดิสก์ทำให้เสี่ยงที่จะเกิดปัญหาหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์อย่างรุนแรงได้ ดังนั้นการกำหนดระยะห่างที่ถูกต้องมีความสำคัญที่จะป้องกันปัญหานี้ได้เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกใช้ในระยะยาว แม้ว่าเทคโนโลยีควบคุมความร้อนจะมีส่วนสำคัญแต่ยังมีปัจจัยอย่างอื่นที่มีผลกระทบต่อปัญหาหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์อย่างรุนแรง ทั้งในเรื่องความหลากหลายในระยะห่างเนื่องจากตำแหน่งของหัวอ่านอุณหภูมิภายนอกและภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Yuan, 2008)

เนื่องจากในปัจจุบันจะทำการหาระยะห่างที่ตำแหน่งด้านในและด้านนอกแผ่นดิสก์แล้วทำการเฉลี่ยค่าเพื่อกำหนดระยะห่างในทุกตำแหน่ง ซึ่งในปัจจุบันจะพบปัญหาหัวอ่านชิดกับแผ่นดิสก์และการเขียนอ่านข้อมูลมีปัญหาที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จะทำการศึกษาการหาระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคาดเคลื่อนของตำแหน่งและวิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ เพื่อที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาค่าตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ พร้อมทั้งศึกษาระยะห่างของหัวอ่านที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นดิสก์ในขณะอุณหภูมิ

ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีความแตกต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์จะใช้อุณหภูมิที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

1.2.2 ศึกษาการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ

1.2.3 เปรียบเทียบวิธีการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งกับวิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ ที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์

1.2.4 ศึกษาการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ ที่อุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

1.3 ขอบเขตและข้อตกลงเบื้องต้นของงานวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการหาระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ทั้งสองวิธีได้

1.3.2 วิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในอุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่แตกต่างกัน

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในส่วนของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระเบียบวิธีวิจัยสถานที่ทำการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย จะแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. สรรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลต่าง ๆ
2. ศึกษาโครงสร้าง ส่วนประกอบ และหลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์
3. ศึกษาการหาระยะห่างด้วยวิธีหาสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง
4. ศึกษาการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ
5. ศึกษาฟังก์ชันในการแปลงค่า FFT ใน Oscilloscope พร้อมทั้งหาวิธีการนำค่า FFT ไปทำการหา Delta FFT ด้วยฟังก์ชันใน Oscilloscope
6. ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลที่ได้
7. จัดทำรายงานและนำเสนอวิทยานิพนธ์

8. แก้วไขวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย

ใช้สถานที่ปฏิบัติการในบริษัท Seagate Technology Thailand (Korat) ต.สูงเนิน

อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา 30170

1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์ปฏิบัติการ
2. Lecroy wavepro 7300A Oscilloscope 3GHz
3. Disk Drive Thermal Conditioner model K49
4. Hyperport และ Seagate board
5. โปรแกรมควบคุมการป้อนกระแสให้หัวอ่านเขียนจาก Seagate Technology

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเข้าใจวิธีการทำงานของการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการหาสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและอ่านสัญญาณอ่านกลับได้

1.5.2 ทราบถึงความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ในช่วงการหาระยะห่างในอุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์ในช่วง 25 ถึง 50 องศาเซลเซียส

1.5.3 เปรียบเทียบวิธีการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ทั้ง 2 วิธีได้

1.5.4 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์งานที่ผิดพลาดในกระบวนการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในอนาคตได้

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการในหลายส่วนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะแบ่งออกเป็น หลักการทำงานขั้นพื้นฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โครงสร้างและส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ หลักการทำงานโดยทั่วไป เทคโนโลยีการหระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ โดยจะกล่าวถึงการศึกษาเทคโนโลยีการหระยะห่างด้วยวิธีหาสัญญาณความคาดเคลื่อนของตำแหน่งและการหระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับด้วยสมการWallace รวมถึงอธิบายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้วย

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์ดดิสต์ขั้นพื้นฐาน

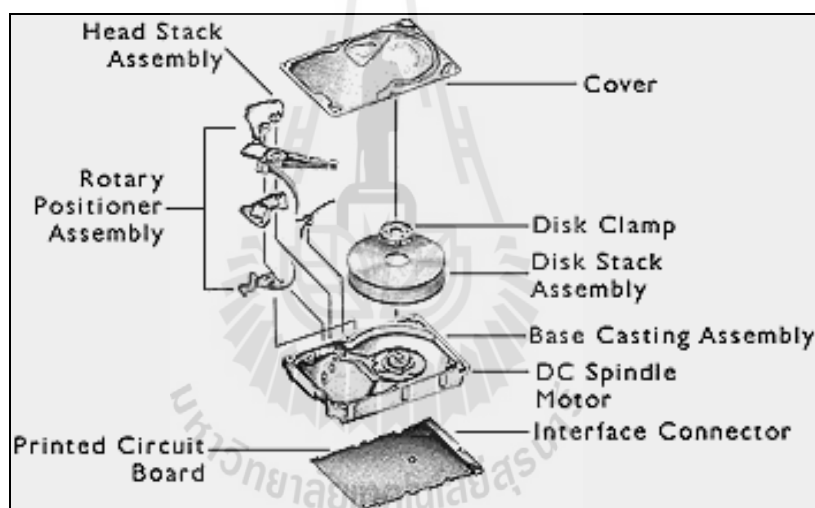
ฮาร์ดดิสก์เป็นหน่วยบันทึกหรืออุปกรณ์ที่คอมพิวเตอร์ใช้เก็บข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถจุข้อมูลได้มากกว่าอุปกรณ์เก็บข้อมูลชนิดอื่น ๆ หลายเท่า และสามารถบันทึกหรือเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็วข้อมูลที่ถูกเก็บในฮาร์ดดิสก์ (Harddisk) จะคงที่และอยู่แบบถาวรแม้จะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ข้อมูลก็จะไม่สูญหายไปไหนเมื่อเปิดเครื่องก็สามารถโหลดโปรแกรมมาใช้งานได้ทันทีหากเป็นข้อมูลก็สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk) ถูกใช้เป็นไดรฟ์หลักในการบูต (Boot) ระบบปฏิบัติการ โปรแกรม รวมทั้งข้อมูลต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำพื้นที่บางส่วนมาจำลองเป็นแรมเสมือน (Virtual Memory) ซึ่งจะช่วยให้เครื่องทำงานได้เร็วอีกด้วย ซึ่งปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ที่ใช้มีขนาด 3.5 นิ้วใช้ในคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (รูปที่ 2.1) และ 2.5 นิ้วใช้ในคอมพิวเตอร์พกพา



รูปที่ 2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดฟ์ขนาด 3.5 นิ้วที่ใช้ในปัจจุบัน

2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการเก็บข้อมูลที่สามารถเขียนอ่านข้อมูลที่ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีส่วนประกอบหลักหลัก ดังรูปที่ 2.2 โดยส่วนประกอบหลัก ๆ จะประกอบไปด้วย แผ่นบันทึกข้อมูลหรือเรียกว่าแผ่นดิสก์ หัวอ่านเขียนซึ่งทำหน้าที่บันทึกและอ่านข้อมูลที่ถูกบันทึกในแผ่นดิสก์ ซึ่งในส่วนของชุดหัวอ่านนั้นจะประกอบจากหลายส่วนซึ่งจะเรียกทั้งหมดว่า head stack assembly (HAS) ซึ่งจะมีส่วนที่เป็นตัวกำหนดหัวอ่านเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียน DC spindle motor คือส่วนที่จะกำหนดให้แผ่นดิสก์หมุนได้ ความเร็วรอบคงที่ที่กำหนด PCBA แผงวงจรควบคุมไฟฟ้า ซึ่งจะมีหลายส่วน ส่วนที่สำคัญคือ Preamp ตัวควบคุมความร้อนที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่านทำให้หัวอ่านยื่นขยายไปเข้าใกล้แผ่นดิสก์เมื่อถึงเวลาใช้งาน

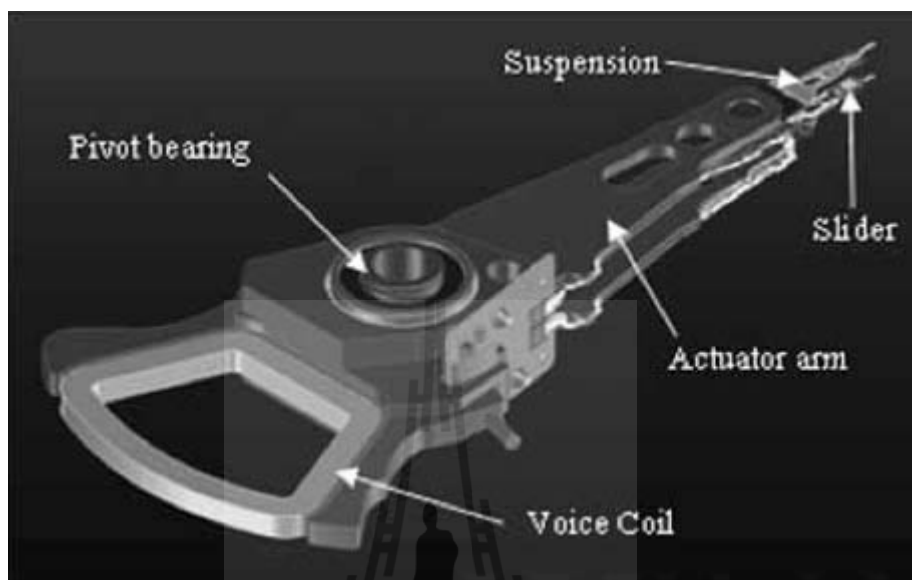


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์

2.2.1. ส่วนประกอบของ Head Stack Assembly (HSA)

เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดอีกส่วนหนึ่ง มีหน้าที่เคลื่อนที่เพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลจาก Platter ในส่วนของ HSA จะมีส่วนประกอบภายในเยอะแยะมากมาย เราจะมาเจาะเฉพาะชิ้นส่วนสำคัญ ๆ กันดังนี้ ในรูปที่ 2.3 (Kaewka, 2553) Voice Coil Motor (VCM) เป็นขดลวดที่ทำหน้าที่บังคับให้แขนกลเคลื่อนที่ไปมาอย่างละเอียด Bearing ทำให้การเคลื่อนที่ของแขนกลเป็นไปได้โดยราบเรียบไม่ติดขัด Arm เป็นส่วนที่ใช้ยึด Heads Gimbal Assembly (HGA) เพื่ออ่าน

หรือเขียนข้อมูลลงบน Platter ส่วนมากจะทำจากอลูมิเนียม ซึ่ง HGA จะประกอบด้วย Suspension และ Slider ซึ่ง Slider จะมีหน้าที่อ่านและเขียนบันทึกข้อมูล



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบ Head stack assembly

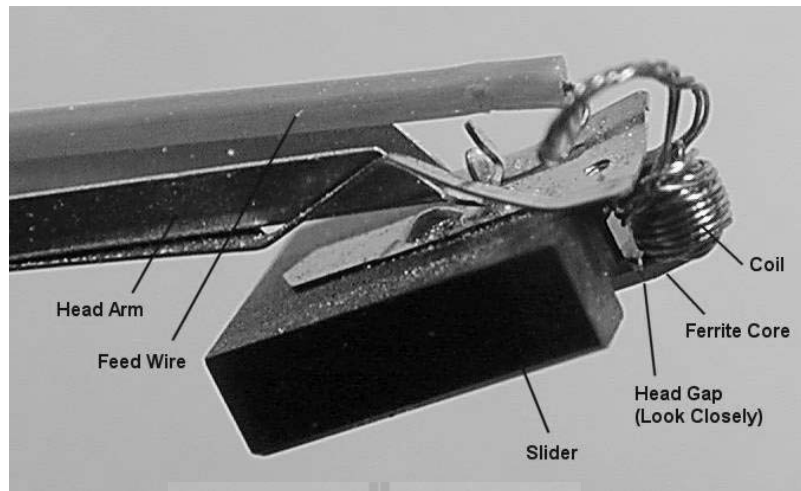
2.2.2. หัวอ่าน-เขียน (Read-Write Head)

เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน-เขียนข้อมูลมีขนาดเล็กและซับซ้อน ซึ่งจะทำหน้าที่อ่าน-เขียนข้อมูลจาก Platter ลักษณะทางกายภาพก็คือจะติดอยู่กับปลายของแขนหัวอ่าน การอ่าน-เขียนข้อมูลจะเริ่มจากคอนโทรลเลอร์ (Controller) จะนำคำสั่งที่ได้มาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วป้อนข้อมูลเข้าสู่ขดลวดภายในหัวอ่าน ทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กแล้วไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่เคลือบอยู่บนผิวของแผ่นดิสก์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น

ชนิดของหัวอ่าน-เขียน

- หัวอ่านเขียนแบบแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Head)

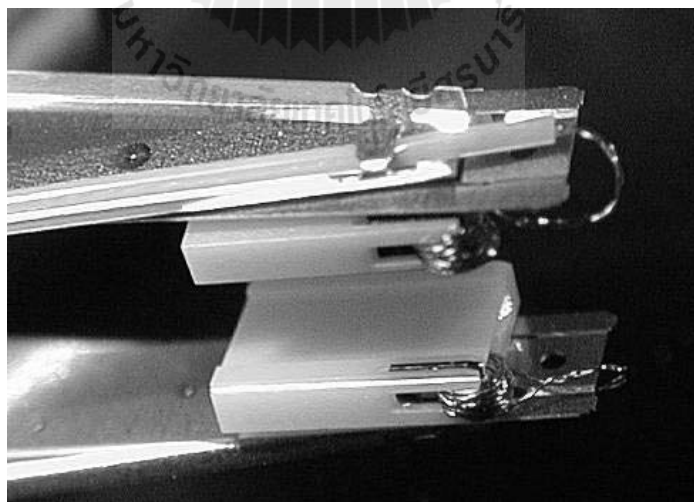
ในฮาร์ดดิสก์รุ่นเก่า ๆ มักจะใช้หัวอ่านที่มีเส้นทองแดงบาง ๆ พันรอบแกนเฟอร์ไรต์ (รูปที่ 2.4) สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จะถูกส่งผ่านในทางใดทางหนึ่งทำให้เกิดแรงชักรันทางกระแสไฟฟ้า สิ่งนี้จะสร้างรูปแบบพิเศษของกลุ่มแม่เหล็กบนส่วนที่เป็นแม่เหล็กของ Particles บน Platter จะไปทางขั้วเหนือหรือขั้วใต้ เมื่อมีการอ่าน-เขียนข้อมูลจากของฮาร์ดดิสก์ หัวอ่านจะรู้ได้ว่าทิศทางของ Particles ไปทางใดและแปลค่าออกมาเป็นบิต 0 หรือบิต 1



รูปที่ 2.4 หัวอ่าน - เขียนแบบแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Head)

- หัวอ่านแบบ **Thin-film Inducted Head**

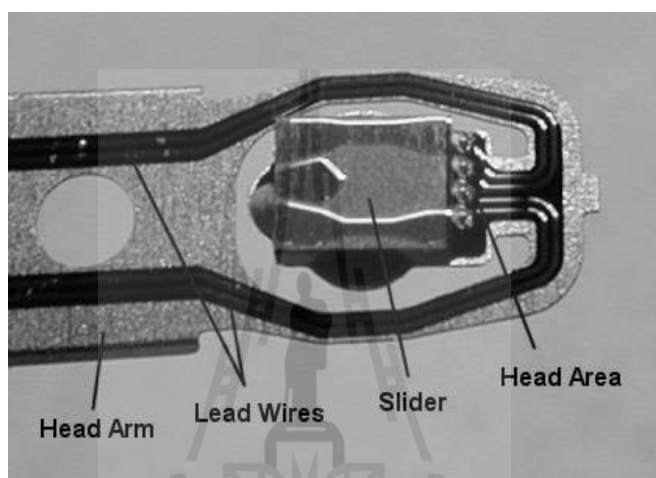
หัวอ่านชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย IBM ในปี ค.ศ. 1979 โดยใช้เทคโนโลยีที่มีชื่อเรียกว่า Photolithographic (รูปที่ 2.5) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาเป็น โครงสร้างพื้นฐานทำให้มีความแม่นยำเที่ยงตรงในการอ่าน-เขียนข้อมูลมากกว่าหัวอ่านแบบเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.5 หัวอ่าน - เขียนแบบ Thin-film Inducted Head

- หัวอ่านแบบ Giant Magneto-Resistive Head

เทคโนโลยีนี้จะอยู่บนพื้นฐานของ Magneto-Resistive Head ด้วยการใช่วัสดุที่เป็น Thin-film ต่างชนิดกัน (รูปที่ 2.6) โดยในปี ค.ศ. 1997 IBM ได้แนะนำ หัวอ่าน-เขียน ชนิดนี้ โดยมีชื่อเรียกย่อ ๆ ว่า GMR ซึ่งมาแทนหัวอ่านแบบ MR ด้วยการมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันออกไปและยังสามารถเพิ่ม Area Densities ขึ้นได้อีกหลายเท่าตัว โดยหัวอ่าน-เขียนชนิดนี้ยังเป็นที่ยอมรับใช้ในฮาร์ดดิสก์ปัจจุบัน



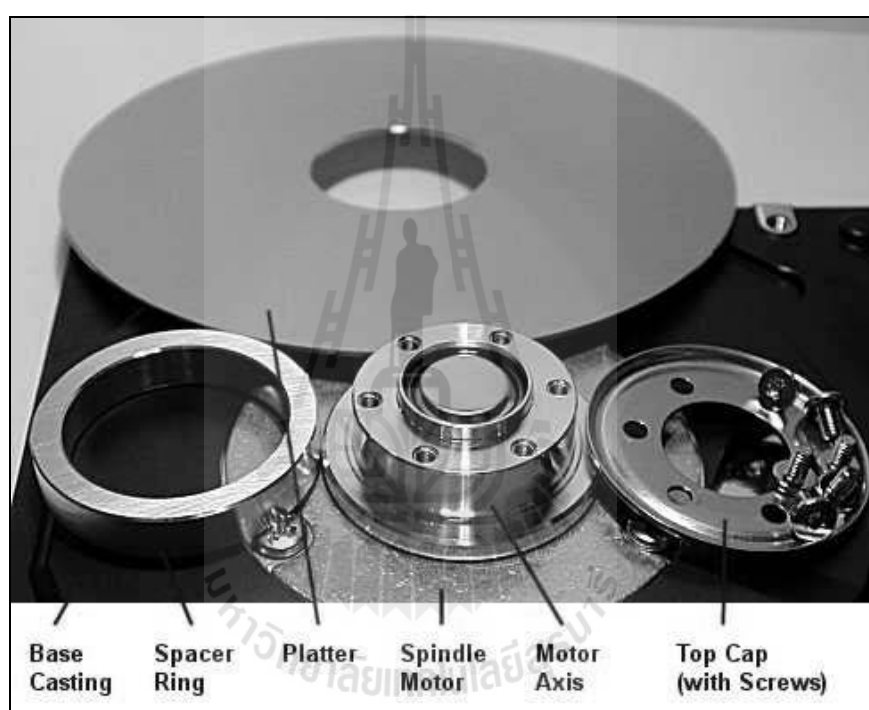
รูปที่ 2.6 หัวอ่าน-เขียนแบบ Giant Magneto-Resistive Head

2.2.3 แผ่นจานแม่เหล็กหรือดิสก์ (Platters or Disk)

มีลักษณะเป็นแผ่นจานกลม ๆ ทำด้วยโลหะผสม (Metal alloy disk) เคลือบด้วยสาร Aluminum alloy หรือ Glass substrate (ฮาร์ดดิสก์ในสมัยแรก ๆ จะถูกเคลือบหรือ Coated ไว้ด้วย Aluminum alloy แต่ในฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันใช้การเคลือบด้วย Glass substrate แทนเนื่องจากมีความคงทนถาวรมากกว่า) โดย Platter จะใช้เป็นที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ การบันทึกข้อมูลนั้นใช้หลักการการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก โดยข้อมูลที่ใช้เก็บบน Platter จะอยู่ในลักษณะ “0” และ “1” เหมือนกับข้อมูลดิจิทัลอื่น ๆ ขนาดของ Platter นั้น โดยทั่ว ๆ ไปจะมีขนาด 3.5 นิ้ว และในฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวก็จะมีจำนวน Platter ไม่เท่ากัน ปกติแล้วฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1-4 แผ่น แต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้าน โดยทั่วไปแล้วยังมี Platter มากก็จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ตัวนั้นมีความจุมากขึ้นไปด้วย

2.2.4. มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor)

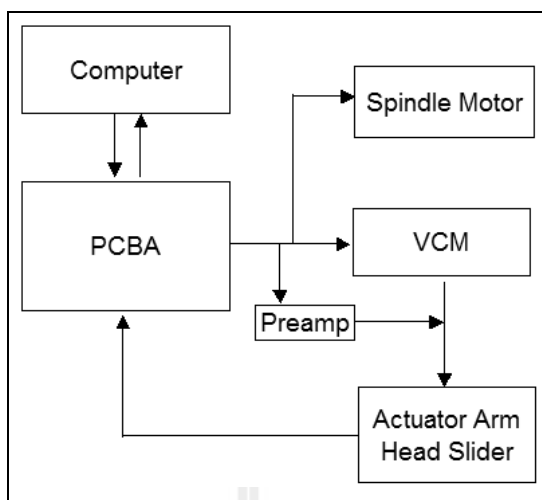
เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนจานแม่เหล็กซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความเร็วในการอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วเท่าใด หัวอ่านก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้นเท่านั้น ซึ่งความเร็วของการหมุนมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (Revolutions Per Minute: RPM) ฮาร์ดดิสก์รุ่นเก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 และ 5,400 รอบต่อนาที ต่อมาพัฒนาเป็น 7,200 รอบต่อนาที และปัจจุบันหมุนได้เร็วถึง 15,000 รอบต่อนาที ในรูปที่ 2.7 แสดงถึงส่วนประกอบของ Platters และ Spindle Motor



รูปที่ 2.7 Platters และ Spindle Motor

2.3 หลักการทำงานของฮาร์ดดิสต์ไดรฟ์

หลักการทำงานโดยทั่วไปของฮาร์ดดิสต์ไดรฟ์สามารถพิจารณาได้จากบล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงานดังรูปที่ 2.8



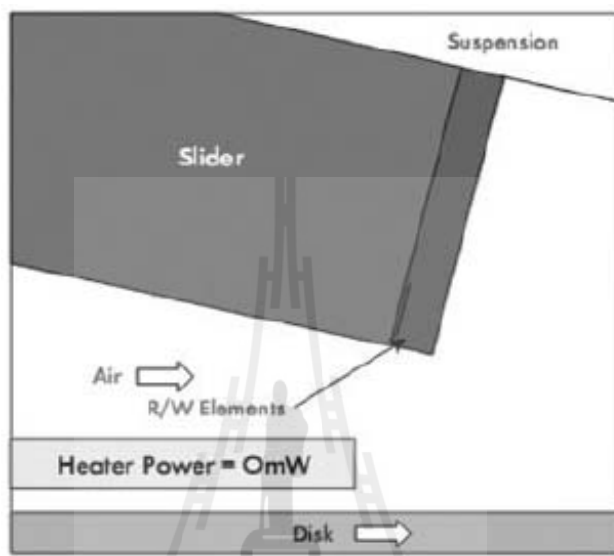
รูปที่ 2.8 หลักการทำงาน โดยทั่วไปของฮาร์ดดิสก์

เมื่อวางแผงควบคุมวงจรไฟฟ้า (PCBA) ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีทั้งส่วนที่เอาไว้รับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์และมีชิ้นส่วนที่ไว้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในฮาร์ดดิสก์ ส่วนที่ควบคุมที่สำคัญคือการควบคุม spindle motor เพื่อที่จะกำหนดความเร็วรอบของแผ่นดิสก์ให้คงที่ซึ่งในปัจจุบันมีฮาร์ดดิสก์ที่กำหนดความเร็วรอบอยู่หลายความเร็ว เช่น 5400 รอบต่อนาที 7200 รอบต่อนาที ซึ่งปัจจุบันมีรุ่นที่ใช้ความเร็วรอบ 15000 รอบต่อนาที เป็นต้น สำหรับการใช้งานปกติเมื่อไม่มีการใช้งาน PCBA จะสั่งให้ Spindle motor หยุดหมุนเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน จากนั้นแผ่น PCBA ยังทำหน้าที่ควบคุม VCM เพื่อสั่งให้ Actuator Arm ไปยังตำแหน่งเขียนอ่านหัวเขียนในแนวรัศมีบนแผ่นดิสก์ และ PCBA จะเป็นตัวที่จะทำการป้องกันความร้อนที่กำหนดให้กับ Slider เพื่อให้หัวอ่านหรือเขียนยื่นเข้าไปใกล้แผ่นดิสก์ ในระยะที่ฮาร์ดดิสก์รุ่นนั้นกำหนด

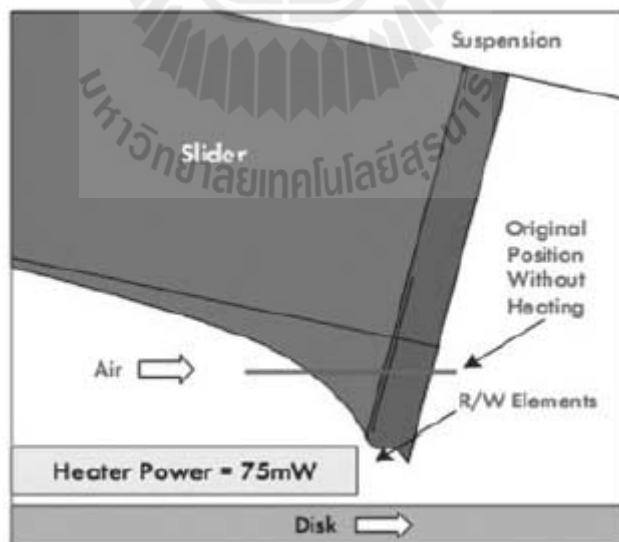
2.4 เทคโนโลยีการกำหนดระยะห่างของหัวอ่าน

ในเรื่องการกำหนดระยะห่างของหัวอ่านซึ่งจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อความจุของฮาร์ดดิสก์คือการทำให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์น้อยที่สุด กล่าวคือทำให้หัวอ่านเข้าไปใกล้แผ่นดิสก์ที่สุด ซึ่งจากรอบการทำงานของการอ่านเขียนข้อมูลมีผลต่อระยะห่างในขณะนั้น ดังนั้นจึงจะต้องมีตัวที่คอยควบคุมให้ระยะห่างที่เหมาะสมตลอดการใช้งานทั้งการอ่านและการเขียน ซึ่งเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้คือ เทคโนโลยี TFC โดยมีการกำหนดระยะห่างด้วยการติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิและชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้หัวอ่านและหัวเขียน ทำให้สามารถที่จะมีมอเตอร์และควบคุมอุณหภูมิที่ได้ จากหลักการทำงานของเทคโนโลยี TFC คือ ที่หัวอ่านและเขียนจะมี

ตัวทำความร้อน โดยที่ตัวทำความร้อนจะถูกป้อนพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความร้อนเข้าสู่หัวอ่าน และเขียน ทำให้ส่วนอ่านและเขียนยื่นขยายตัวออกไปเข้าใกล้กับแผ่นดิสก์ทำให้ระยะห่างก็จะลดลง จากรูปที่ 2.9ก จะแสดงระยะห่างของหัวอ่านก่อนที่จะป้อนพลังงานให้ความร้อน รูปที่ 2.9ข จะแสดงระยะห่างของหัวอ่านในขณะที่ป้อนพลังงานให้ความร้อน



(ก)



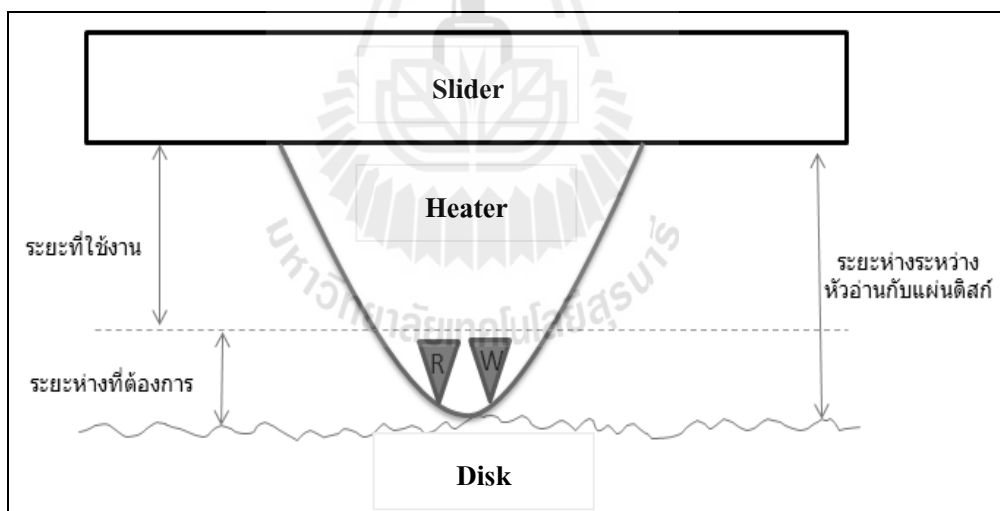
(ข)

รูปที่ 2.9 (ก) ระยะห่างของหัวอ่านก่อนป้อนพลังงานให้ความร้อน (ข) ระยะห่างของหัวอ่าน ในขณะที่ป้อนพลังงานให้ความร้อน

เนื่องจากเทคนิคนี้จะทำการระเหยการบินจากจุดเริ่มต้นที่ตำแหน่งนอกสุดของแผ่นดิสก์ และตำแหน่งในสุดของแผ่นดิสก์ หลังจากได้ปริมาณกระแสที่ป้อนให้ความร้อนแล้วจึงทำการคำนวณระยะห่าง จากการเฉลี่ยค่าจากทั้งตำแหน่งในสุดกับตำแหน่งนอกสุด (Schultz, 2007. Thermal fly-height control (TFC) technology in Hitachi hard disk drives.)

เมื่ออธิบายเป็นภาพประกอบ 2 มิติ ในรูปที่ 2.10 จะแสดงลักษณะการทำงานของหัวอ่าน เริ่มต้นในการออกแบบการเขียนอ่านจะกำหนดระยะที่ต้องการให้หัวอ่านอยู่ห่างจากแผ่นดิสก์ เป็นระยะทางเท่าไรตามขนาดความจุที่ต้องการ ยิ่งเข้าใกล้มากก็ยิ่งเขียนอ่านได้ดี แต่ถ้าใกล้เกินไป อาจจะทำให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์อย่างรุนแรงได้ ดังนั้นขั้นตอนต่อมาจึงต้องหาระยะห่างของหัวอ่านในขณะที่ยังไม่ได้ป้อนพลังงานไฟฟ้า เมื่อหาระยะห่างแล้วจะทำการนำระยะห่างที่ได้ ไปลบออกจากระยะห่างที่กำหนดก็จะได้เป็นระยะห่างที่ใช้งานเมื่อทำการอ่านเขียนข้อมูลซึ่งเขียนเป็นสมการที่ 2.1

$$\text{ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์} - \text{ระยะห่างที่ต้องการ} = \text{ระยะห่างที่ใช้งาน} \quad (2.1)$$

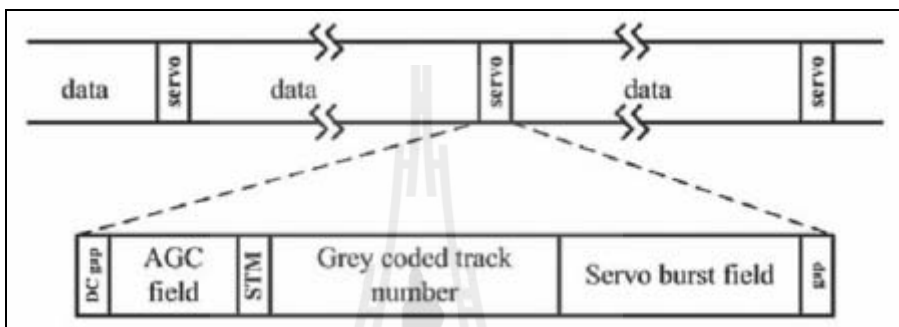


รูปที่ 2.10 ลักษณะการบินของหัวอ่านเมื่อใช้งาน

จากการที่ต้องหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์วิธีการหาระยะห่างที่นิยมใช้คือ การหาระยะห่างด้วยวิธีหาสัญญาณคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ซึ่งจะอาศัยหลักการทำงานทางกลเข้ามาช่วยหาระยะห่าง

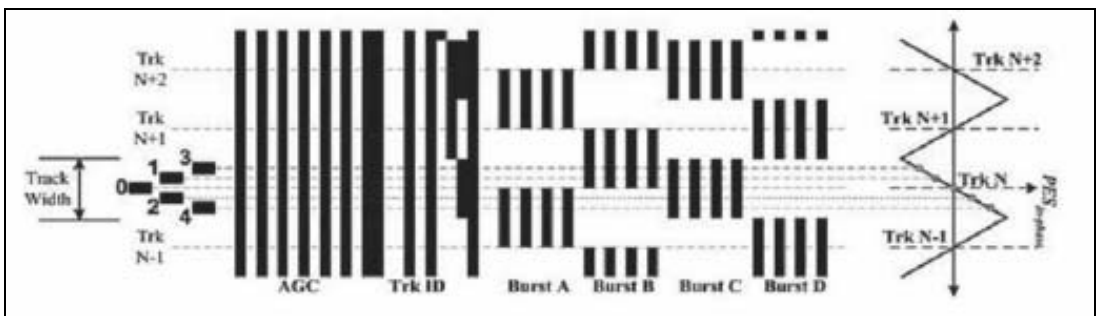
2.4.1 การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

เนื่องจากการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่นิยมใช้ในฮาร์ดดิสต์ไดรฟ์ คือวิธีการที่เรียกว่าการหาความแตกต่างระหว่างสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ซึ่งจะใช้ข้อมูลของเซอร์โวซึ่งมี 5 ส่วนที่สำคัญถูกเขียนลงในแผ่นดิสก์ รูปที่ 2.11 จะแสดงส่วนประกอบทางข้อมูลของเซอร์โว คือ DC-gap field, Automatic gain control (AGC) field, Servo timing mask (STM) field, Grey codes track number field, Position burst pattern field



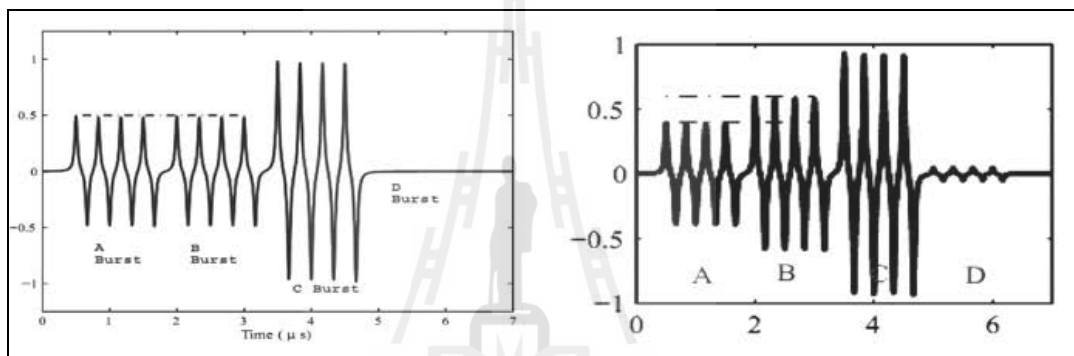
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบทางข้อมูลของเซอร์โว

แต่ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการหาสัญญาณความผิดพลาดทางตำแหน่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วนคือ Grey coded track number field ซึ่งจะเป็นตัวที่ระบุหมายเลขของแทร็กเพื่อให้รู้ว่าตอนนี้หัวอ่านอยู่ที่ตำแหน่งแทร็กที่เท่าไร และส่วนของ Position burst pattern field ซึ่งจะใช้เป็นรูปแบบเซอร์โวในการระบุตำแหน่งหัวอ่านเขียน จากการเขียนในแบบแผน burst A, B, C, D



รูปที่ 2.12 การวางตัวของ burst A, B, C, D

ในการทดลองจะทำการกำหนดตำแหน่งแตรีกของหัวอ่านให้ทำการอ่านเขียนที่ตำแหน่งนั้น จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งที่ 0 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของค่าแตรีกสัญญาณที่อ่านได้จาก burst C จะมีค่าสัญญาณสูงที่สุด ค่า burst D จะเป็น 0 ส่วน burst A และ burst B จะมีค่าเท่ากัน แต่ได้ค่าที่น้อยกว่า burst C โดยรูปแบบของสัญญาณที่อ่านได้จากตำแหน่ง 0 ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.12 ถ้าหากว่าตำแหน่งของหัวอ่านไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งที่ 0 สัญญาณที่อ่านได้โดยรูปแบบของสัญญาณที่อ่านได้จาก burst A, B, C, D ก็จะแตกต่างกันออกไปด้วย ตัวอย่างเช่นหากหัวอ่านเขียนอยู่ที่ตำแหน่งหมายเลข 1 สัญญาณที่อ่านได้จาก burst B ย่อมสูงกว่า burst A เพราะหัวอ่านอยู่ใกล้มากกว่า ซึ่งแสดงรูปแบบสัญญาณได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รูปแบบของสัญญาณ

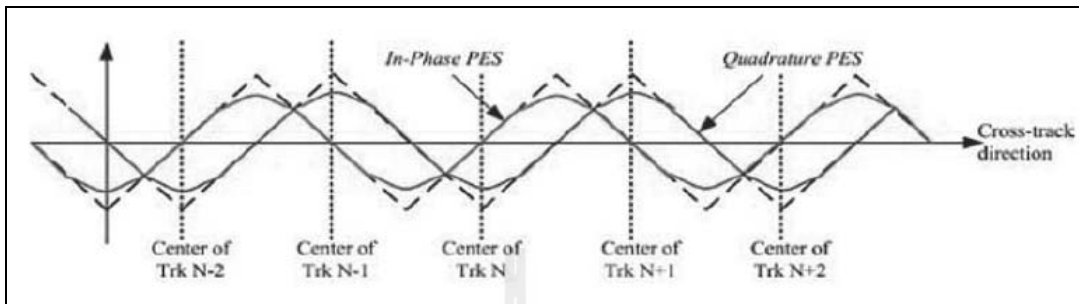
ดังนั้นตำแหน่งที่หัวอ่านเขียนอยู่ห่างจากศูนย์กลางของแตรีกสามารถคำนวณได้จากสัญญาณ burst เหล่านี้ และตำแหน่งศูนย์กลางของแตรีกสามารถคำนวณได้จากสัญญาณ burst เมื่อสัญญาณที่อ่านได้จาก burst A เท่ากับ burst B ความแตกต่างของ A และ B เรียกว่าสัญญาณแบบ in-phase PES ดังสมการที่ 2.1 เพื่อเป็นการยืนยันตำแหน่งของหัวอ่านเขียนในขณะที่อยู่บนแตรีก นอกจาก burst A และ burst B แล้ว ยังใช้ burst C และ D อีกด้วย โดยใช้หลักการเดียวกัน เพียงแต่หากหัวอ่านอยู่กึ่งกลางแตรีกจะอ่านค่าสัญญาณ burst C ได้สูงสุดและไม่สามารถอ่านสัญญาณ burst D ได้ ซึ่งความแตกต่างของ burst C และ burst D เรียกว่าสัญญาณ quadrature PES ดังสมการที่ 2.2 โดยหากใช้หัวอ่านเขียนสแกนอ่านค่าของแต่ละแตรีกไม่เฉพาะจุดที่คิดว่าเป็นศูนย์กลางจะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 2.14 ซึ่งจะมีเฟสที่ต่างกัน 90 องศา

$$PES_{in_phase} = AA - AB$$

(2.2)

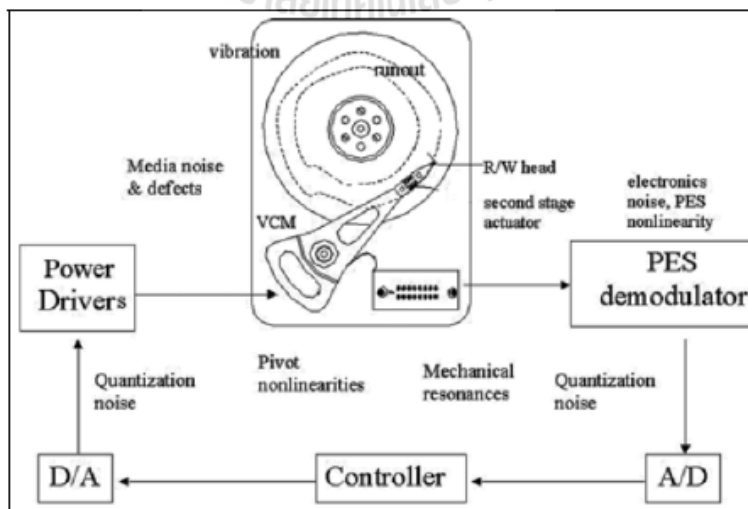
$$\text{PES}_{\text{quadrature}} = \text{AC} - \text{AD} \tag{2.3}$$

เมื่อ AA, AB, AC, AD คือระดับสัญญาณของ burst A, B, C, D ตามลำดับ



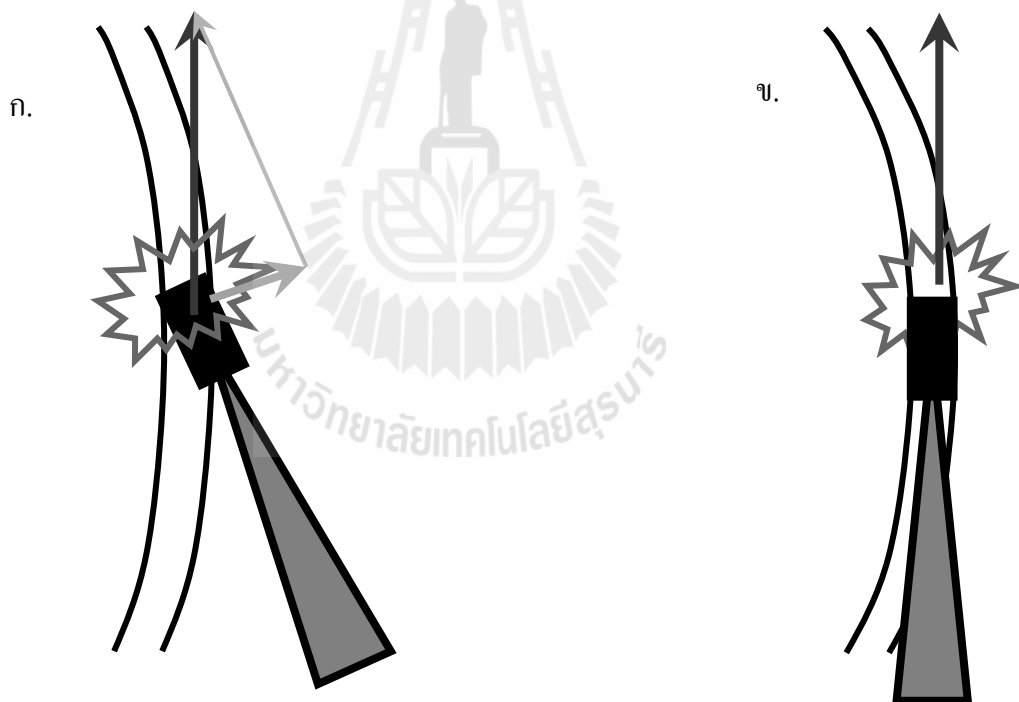
รูปที่ 2.14 รูปแบบของสัญญาณแบบ in-phase PES และ quadrature PES

ในการควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านเขียนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ Controller จะส่งค่าซึ่งถูกแปลงเป็นอะนาล็อกโดยผ่าน D/A สัญญาณจาก D/A จะถูกส่งไปยัง Power drivers ซึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อน VCM สัญญาณที่ใช้สำหรับการหาดำแหน่งกลางแทร็กจะถูกอ่านโดยหัวอ่าน แล้วส่งไปให้ PES demodulator เพื่อหา Position Error signal สัญญาณ PES จะถูกแปลงเป็นดิจิทัล โดย A/D ก่อนที่จะส่งไปยัง Controller เพื่อคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องตรงกลางแทร็ก ซึ่งระบบควบคุมดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Servo loops

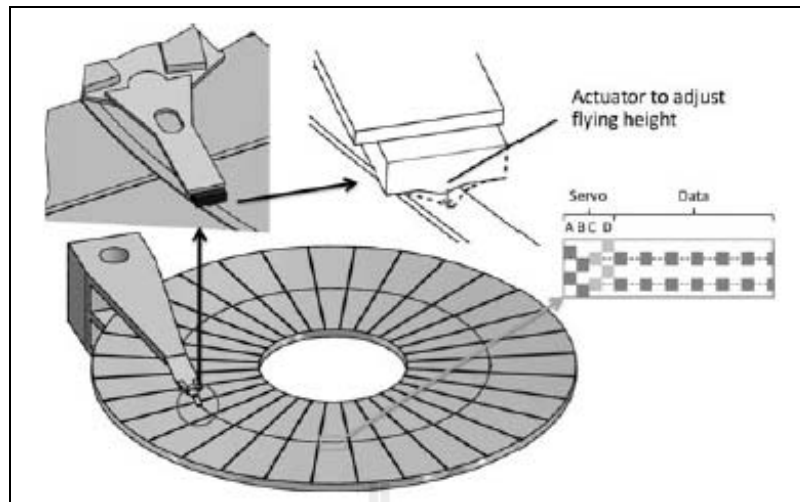


รูปที่ 2.15 รูปแบบการทำงานของ การหาความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

เนื่องจากการศึกษาด้วยวิธีการหาความคาดเคลื่อนของตำแหน่ง จะพบปัญหาที่ตำแหน่งหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ทำมุม 0 องศา เนื่องจากการหาความคาดเคลื่อน คือป้อนพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความร้อนให้หัวอ่านให้ไปสัมผัสแผ่นดิสก์ ถ้าที่มุมองศาใด ๆ จากรูป 2.16ก เมื่อเวลาหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์จะมีแรงต้านข้างมากจะทำให้หัวอ่านเกิดการสั่น ทำให้ง่ายต่อการรับรู้ว่าเป็นระยะการบินที่หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์แล้ว แต่ที่ตำแหน่งหัวอ่านทำมุม 0 องศากับแผ่นดิสก์ในรูป 2.16ข ซึ่งจะอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นดิสก์ เมื่อเกิดการสัมผัสแล้วแรงที่มากจะทำให้จะน้อยมาก ทำให้ยากต่อการดูสัญญาณความคาดเคลื่อนทำให้ระยะที่วัดได้ผิดพลาด อาจจะมีวัดได้เร็วหรือช้าเกินไปอาจจะทำให้เกิดปัญหาหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์รุนแรงได้ ดังนั้นในปัจจุบันจะเลี่ยงปัญหานี้ก็จะเลือกวัดระยะห่างเฉพาะตำแหน่งเส้นรอบวงแผ่นดิสก์ที่ด้านในกับด้านนอก ส่วนตำแหน่งตรงกลางจะคำนวณระยะจากการนำค่าที่ตำแหน่งด้านในและด้านนอกไปเฉลี่ยและนำค่านั้นไปใช้งานต่อไป

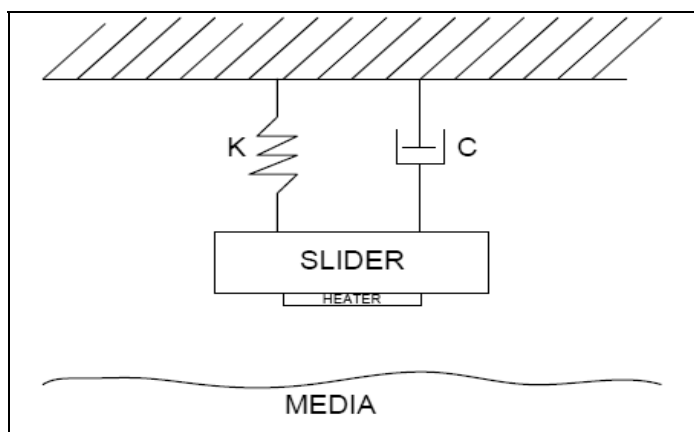


รูปที่ 2.16 (ก) ลักษณะหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่องศาใด ๆ (ข) ลักษณะหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่ 0 องศา



รูปที่ 2.17 ลักษณะการจัดข้อมูลของ Servo ในแผ่นดิสก์

จากการศึกษางานวิจัยของ Tani, Goshi, Hamaguchi, and Suzuki (2006) ได้ทำการวิจัยในหัวข้อเกี่ยวกับ Study of head take off phenomenon influenced by stick-slip vibration of slider on head-disk interface ซึ่งจากงานวิจัยได้ทำการอธิบายถึงผลกระทบของหัวอ่านที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยพบว่าเมื่อทำการป้อนแรงกดลงบนหัวอ่านแล้วทำการอ่านสัญญาณด้วยสัญญาณเสียง (Acoustics Emission sensor) พบว่าเมื่อมีแรงกระทำต่อหัวอ่านเพียงชั่วขณะจะเกิดแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นแต่เมื่อเวลาผ่านไปสัญญาณก็จะกลับไปปกติเนื่องจากหัวอ่านยังไม่ได้สัมผัสกับแผ่นดิสก์ เมื่อเพิ่มแรงกดมากขึ้นแรงสั่นสะเทือนก็จะเพิ่มมากขึ้นจนพบว่าสัญญาณสั่นสะเทือนของหัวอ่านยังคงอยู่ เมื่อนำแผ่นดิสก์ที่แทร์กนั้นไปตรวจสอบจะพบว่าหัวอ่านมีการสัมผัสกับแผ่นดิสก์ที่รุนแรง Lubricant บนแผ่นดิสก์จะถูกขูดออกไป เวลาที่หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์เราจะพบว่ามีความถี่ทำให้เกิดสัญญาณการสั่น ถ้าอ่านสัญญาณจากแทร์กก็จะอ่านได้ไม่ตรงแทร์กเดิมซึ่งจากการทดลองนี้ได้ทำการออกแบบแบบจำลอง one degree of freedom เพื่ออธิบายหลักการทำสั่นสะเทือนเมื่อหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ดังรูปที่ 2.18

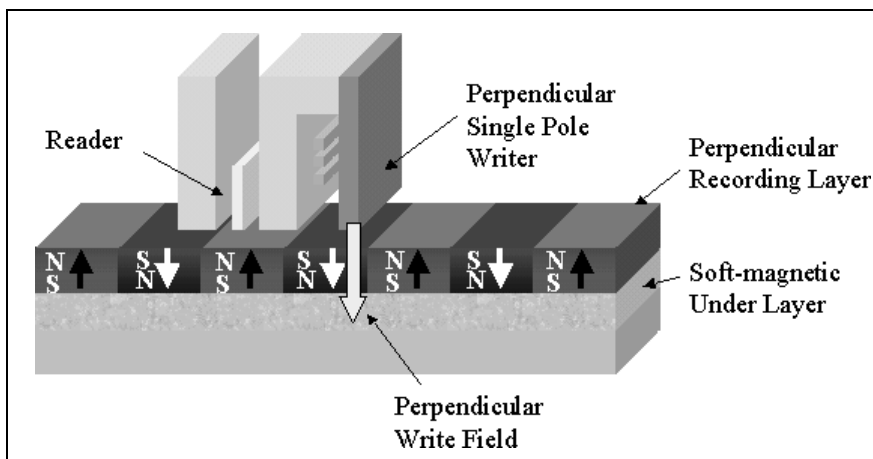


รูปที่ 2.18 แบบ one degree of freedom ของหัวอ่าน

จากการศึกษางานวิจัยของ U. Boettcher, C. A. Lacey, H. Li, K. Amemiya, R. A. de Callafon and F. E. Talke (2010) ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ Servo signal processing for flying height control in hard disk drives จากงานวิจัยได้ทำการศึกษาลักษณะของสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อทำการป้อนพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความร้อนให้กับหัวอ่าน หัวอ่านจะยื่นขยายตามพลังงานที่ป้อน ซึ่งโปรแกรมจะทำการแสดงสัญญาณความผิดพลาดของตำแหน่ง จากผลของงานวิจัยพบว่าเมื่อป้อนพลังงานเพื่อเพิ่มความร้อนให้หัวอ่านเพิ่มขึ้น ระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ก็ลดลง เมื่ออ่านสัญญาณ Servo ในแทร็คนั้นจะพบว่าเมื่อหัวอ่านเริ่มเข้าใกล้แผ่นดิสก์มากขึ้น สัญญาณในตำแหน่งที่อ่านได้จะเริ่มเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ทราบถึงรูปแบบของสัญญาณเมื่อหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์จากการทดลองนั้นจะพบว่าเมื่อเราเพิ่มพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเรื่อย ๆ ระยะห่างของหัวอ่านก็จะลดลงจนเข้าใกล้แผ่นดิสก์ แต่เมื่อหัวอ่านมีการสัมผัสกับแผ่นดิสก์แล้วทำการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้หัวอ่านยื่นตัวอีกประสิทธิภาพการอ่านสัญญาณก็ลดลงเช่นกัน

2.4.2 การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ

การศึกษาเรื่องการบันทึกข้อมูลแนวตั้งในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กที่ป้อนให้กับหัวเขียน วงจรพรีแอมป์จะทำการแปลงบิตข้อมูลให้อยู่ในรูปของกระแสเขียนและส่งผ่านไปยังขดลวดของหัวเขียนทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นสนามแม่เหล็กเขียนบริเวณช่องว่าง (gap) จากรูปที่ 2.19 แสดงถึงรูปแบบการวางตัวหัวอ่านและชั้นของการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 2.19 ช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์

เนื่องจากเราทราบว่าเมื่อหัวอ่านมีการยื่นเข้าไปใกล้แผ่นดิสก์ปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาระยะห่างในรูปแบบของสมการ Wallace ซึ่งได้มาจากแอมพลิจูดของแรงดัน (voltage) ของหัวอ่านที่เปลี่ยนแปลงไป (Gebredingle, 2006) ค่าขนาดของแอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปคำนวณในสมการ Amplitude Ratio method ซึ่งได้มาจากการนำค่าขนาดของแอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ในการเขียนมาคำนวณหาระยะที่สูญเสียไปจากการป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่หัวอ่าน จากความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของแอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้า ระยะสูญเสีย และความยาวคลื่นได้จากสมการ

$$\frac{V}{V_0} = e^{-2\pi d/\lambda} \tag{2.4}$$

V = แอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้า V_0 = แอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น เมื่อเราทำการหาแอมพลิจูดแรงดันที่ระยะที่ 1 กับที่ 2 เราจะได้สมการเป็น

$$\frac{V_1}{V_0} = e^{-2\pi d_1/\lambda} \quad ; \quad \frac{V_2}{V_0} = e^{-2\pi d_2/\lambda} \tag{2.5}$$

เมื่อทำสมการให้อยู่ในรูป Logarithm จะได้ความสัมพันธ์ของความต่างของระยะห่างเป็น Δd

$$\text{ในเทอม } \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$\ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \frac{2\pi(\Delta d)}{\lambda} \quad (2.6)$$

จากสมการความยาวคลื่นเราจะได้สมการดังนี้

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2\pi \times r \times RPM \times \frac{1}{60}}{f} \quad (2.7)$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่น

v = ความเร็วของคลื่น

f = ความถี่

RPM = รอบต่อนาที

r = รัศมีของแผ่นดิสก์เราสามารถที่จะรวมสมการ ที่ (2.6) เข้าใน สมการที่ (2.7) ได้ดังนี้

$$\Delta d_{AR} = \frac{r \times RPM}{60 \times f} \ln \left\{ \frac{V_2}{V_1} \right\} \quad (2.8)$$

จากการหาระยะห่างที่สูญเสียไปในการคำนวณด้วย Harmonic Ratio method ซึ่งจะใช้ความถี่ในการเขียนและความถี่ฮาโมนิก ($3*f$) ซึ่งจะเขียนความสัมพันธ์ที่อยู่ในรูปสมการ Wallace Equation

$$\lambda_1 = \frac{v}{f} = \frac{2\pi \times r \times RPM \times \frac{1}{60}}{f} \quad (2.9)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของแอมป์จูด ระยะสูญเสีย และ ความยาวคลื่น ได้จากสมการ

$$\frac{V}{V_0} = e^{-2\pi d/\lambda} ; \frac{V_1}{V_0} = e^{-2\pi d/\lambda_1} ; \frac{V_3}{V_0} = e^{-2\pi d/\frac{\lambda_1}{3}} \quad (2.10)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูป Logarithm $\ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right)$ ของระยะห่างใด ๆ จะพบว่า

$$\ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right) = \frac{4\pi d}{\lambda_1} \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.11) หาค่าระยะห่างของการสูญเสียได้จากการหา Δd

$$\Delta d = d_1 - d_2 = \frac{\lambda_1}{4\pi} \ln \left\{ \frac{V_{f,1}/V_{3f,1}}{V_{f,2}/V_{3f,2}} \right\} \quad (2.12)$$

เราสามารถที่จะรวมสมการ ที่ (2.9) เข้าใน สมการที่ (2.12) ได้ดังนี้

$$\Delta d_{HR} = \frac{r \times RPM}{120 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{f,1}/V_{3f,1}}{V_{f,2}/V_{3f,2}} \right\} \quad (2.13)$$

เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ใช้ความถี่พื้นฐานดังนั้นในสมการ AR ซึ่งสามารถที่จะนำมาเขียนความสัมพันธ์กับสมการ HR ได้ดังนี้

จากสมการ Harmonic method

$$\Delta d_{HR} = \frac{r \times RPM}{120 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{f,1} / V_{3f,1}}{V_{f,2} / V_{3f,2}} \right\} \quad (2.14)$$

ในสมการฮาร์โมนิกส์ที่ 1 ของ AR จะได้ดังนี้

$$\Delta d_{AR,f} = \frac{r \times RPM}{60 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{f,2}}{V_{f,1}} \right\} \quad (2.15)$$

และสมการฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของ AR จะได้ดังนี้

$$\Delta d_{AR,3f} = \frac{r \times RPM}{60 \times 3 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{3f,2}}{V_{3f,1}} \right\} \quad (2.16)$$

ซึ่งเราสามารถพิสูจน์สมการ (7) ได้ดังนี้

$$\frac{r \times RPM}{120 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{f,1} / V_{3f,1}}{V_{f,2} / V_{3f,2}} \right\} = \frac{1}{2} \frac{r \times RPM}{60 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{3f,2} / V_{3f,1}}{V_{f,2} / V_{f,1}} \right\} \quad (2.17)$$

$$\frac{r \times RPM}{120 \times f} \ln \left\{ \frac{V_{f,1} / V_{3f,1}}{V_{f,2} / V_{3f,2}} \right\} = \frac{1}{2} \frac{r \times RPM}{60 \times f} \left\{ \ln \left\{ \frac{V_{3f,2} / V_{3f,1}}{V_{f,2} / V_{f,1}} \right\} - \ln \left\{ \frac{V_{f,2}}{V_{f,1}} \right\} \right\} \quad (2.18)$$

เราสามารถแทนสมการ (2.14) และ (2.15) ลงในสมการที่ (2.16)

$$\Delta d_{HR,f} = \frac{1}{2} [3 \times \Delta d_{AR,3f} - \Delta d_{AR,f}] \quad (2.19)$$

เราสามารถนำสมการ AR และ HR ที่ได้จากความสัมพันธ์ในรูปแบบ Wallace Equation ไปใช้หาระยะห่างที่สูญเสียจากการป้อนกระแสไฟสู่อ่านได้

ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ Z. M. Yuan, S. H. Leong, S. J. Tasjin, K. W. Ng and B. Liu (2008) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง Sub-mm disk waviness characteristics and slider flying dynamics under thermal FH control จากสรุปผลการวิจัยได้อธิบายถึงวิธีการเขียน Pattern ที่เป็นรูปแบบฮาร์โมนิกส์ความถี่ที่ 1 และฮาร์โมนิกส์ความถี่ที่ 3 ลงในแผ่นดิสก์ การอ่านสัญญาณอ่านกลับและนำค่า Amplitude ที่ได้ไปคำนวณหาระยะห่างด้วยวิธี Wallace Equation ซึ่งจากการทดลองในงานวิจัยนี้จะเลือกตำแหน่งที่จะทำการเขียนข้อมูลตำแหน่งหัวอ่านทำมุมกับแผ่นดิสก์ 0 องศา ในการทดสอบเมื่อนำค่าระยะห่างที่คำนวณได้มาพล็อตด้วยโปรแกรมจะพบว่าเมื่อค่าความชันเปลี่ยนแปลงไปในงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นค่าของหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาค่าระยะห่างของหัวอ่านที่แตกต่างกัน ก็จะพบว่าหัวอ่านแต่ละตัวจะมีระยะห่างกับดิสก์ที่แตกต่างกัน และเมื่อผลของความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่เพิ่มให้กับหัวอ่านกับค่าของระยะห่างลดลงจนถึงจุดที่ค่าความชันเกิดการเปลี่ยนแปลง และระยะห่างเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงจุดที่พบก็คือจุดที่หัวอ่านเริ่มสัมผัสกับแผ่นดิสก์แล้ว

2.4.3 การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT)

การวัดสัญญาณต่าง ๆ ในงานทางวิศวกรรม เรามักจะคุ้นเคยกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตามเวลาที่เปลี่ยนไป แต่ในบางครั้งเราต้องการทราบสัญญาณเดียวกันนี้ที่พิจารณาในแกนอ้างอิงเทียบทางความถี่ ปัจจุบันเรา สามารถตรวจพบความเสียหายที่ก่อตัวในเครื่องจักร แต่เนิ่น ๆ ได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ที่ขึ้นจากเครื่องจักร อีกทั้งสามารถระบุชุดลงไปได้ว่าเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วนใดในเครื่องจักร การวิเคราะห์แบบฟูริเยร์ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการประมวลผลสัญญาณของเครื่องมือวัดทางความถี่ที่ขึ้น สมัยใหม่นี้ คือเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว Fast Fourier Transform, FFT Analyzer (จักร จันทลักษณ์, 2545) ซึ่งมีการพัฒนามาจากรากฐานของอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier Series) ถ้าหากเราพิจารณาแกนอ้างอิงเทียบทางเวลาของสัญญาณไซน์ (Sine wave) เราอาจจะคุ้นเคยรูปลักษณะของมันได้อย่างดี โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณนี้จะมีการเกิดซ้ำรูปแบบเมื่อเวลาผ่านไป T ซึ่งเรียกว่าคาบของสัญญาณ ซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ (การแกว่งขึ้นลงครบรอบ) ของคลื่นนี้ คือ $f = 1/T$ คือจำนวนของคาบคลื่นใน 1 วินาที ซึ่งความถี่ f นี้สามารถถูกพลอตในกราฟแกนอ้างอิง

เทียบความถี่ แต่ในความเป็นจริงสัญญาณที่วัดจริงนั้นมักไม่ได้มีเพียงรูปคลื่นไซน์ความถี่เดียวนี้ แต่อาจเป็นรูปคลื่นใด ๆ ก็ได้ ดังนั้นเราจะหาวิธีการอย่างไรในการพิจารณาสัญญาณที่ซับซ้อนเช่นนี้ ให้สามารถที่จะถูกเขียนอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ได้ ในเรื่องปริซึมซึ่งใช้เพื่อการแยกแสงสีขาว ออกมาเป็นองค์ประกอบของสีหลัก 7 สี ซึ่งถูกค้นพบโดยเซอร์ ไอแซค นิวตัน โดยองค์ประกอบที่ว่าเป็นคือ สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงสีขาวนั่นเอง ในทำนองเดียวกันถ้าเราสามารถหาปริซึมเพื่อใช้แยกความถี่ของสัญญาณออกมาได้ก็จะทำให้รู้องค์ประกอบของสัญญาณและสามารถที่จะสร้างมันซ้ำขึ้นมาใหม่ได้ ปัจจุบันเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณจะใช้วิธีการนำ สัญญาณที่วัดได้มาคำนวณแบบดิจิทัลแล้วแสดงองค์ประกอบทางความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณออกมา ซึ่งใช้หลักการการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) นั่นเอง ซึ่งอาศัยเพียงหน่วยประมวลผล CPU และหน่วยความจำ Memory ของคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเท่านั้น ซึ่ง FFT นี้เองที่ถูกใช้เป็นปริซึมเพื่อแยกองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณออกมา ถ้าพิจารณาสัญญาณ $x(t)$ ใด ๆ ก็ตามในโลกนี้จะมีคุณสมบัติหนึ่งอยู่คือ สามารถที่จะแยกสัญญาณออกมาเป็นฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่ของสัญญาณนั้น กล่าวคือ

$$x(t) = \frac{x(t) + x(t)}{2} + \left[\frac{x(t) - x(-t)}{2} \right] \quad (2.20)$$

หรือเขียนสมการนี้เป็นรูปภาพคือ

$$x(t) = \text{เทอม1} + \text{เทอม2} \quad (2.21)$$

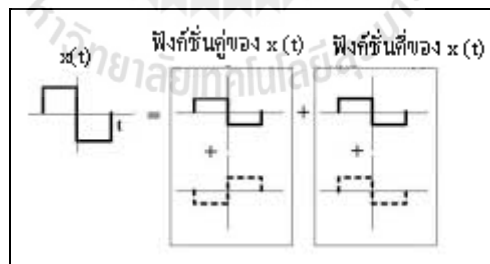
ถ้าจับคู่ในสมการที่ (2.20) โดยนำ เทอมแรกรวมกับเทอมสามจะกลายเป็นฟังก์ชันคู่ นำ เทอมสองรวมกับเทอมสี่จะกลายเป็นฟังก์ชันคี่ซึ่งมีความหมายตามการสมมาตรเทียบกับแกนตั้งในภาพด้านล่างนี้

$$x(t) = \text{ฟังก์ชันคู่ของ } x(t) + \text{ฟังก์ชันคี่ของ } x(t) \quad (2.22)$$

ในทางคณิตศาสตร์แล้ว คลื่น โคไซน์ (Cosine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคู่ ส่วนคลื่นไซน์ (Sine) จะมีคุณลักษณะเป็นฟังก์ชันคี่ แต่กระนั้นก็ตามทั้งสองรูปแบบสัญญาณจะเกิดเป็นคาบซ้ำ เพราะฉะนั้นสัญญาณที่พิจารณา (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าสัญญาณต้นฉบับ) จะต้องเกิดเป็นคาบด้วย ซึ่งโดยหลักการคือต้องการนำ สัญญาณคลื่นไซน์และโคไซน์หลาย ๆ ความถี่และหลายขนาด รวมเข้าด้วยกันและนำไปเทียบกับต้นฉบับว่าสอดคล้องกับเทอมคู่และคี่ของต้นฉบับมากน้อยเพียงใด หรือเขียนเป็นสมการอนุกรมฟูรีเยร์ได้

$$x(t) \approx \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (2.23)$$

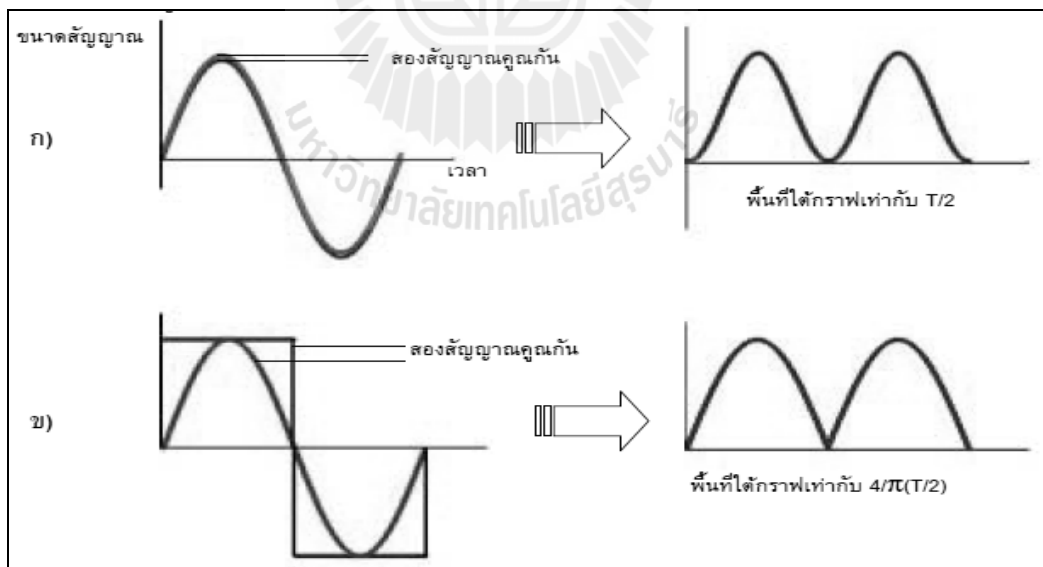
โดยสัญญาณ $x(t)$ ต้นฉบับถูกประมาณด้วยอนุกรมที่ประกอบด้วยเทอมฟังก์ชันคู่โคไซน์และฟังก์ชันคี่ไซน์ด้วยขนาดและความถี่ต่าง ๆ ซึ่งสมการที่ (2.23) นี้เรียกว่าเป็นอนุกรมฟูรีเยร์ซึ่งต้องหาว่าขนาดสัญญาณ a_n เป็นเท่าใด ณ ความถี่ $n\omega$ (หรือ $n2\pi f$) ของฟังก์ชันคู่ของต้นฉบับ และ b_n ขนาดเป็นเท่าใด ณ ความถี่ $n\omega$ ของฟังก์ชันคี่ต้นฉบับและจำนวน n ที่ต้องใช้ที่เทอมความถี่ถึงจะเทียบกับสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้อง ซึ่งผู้เขียนขอละสมการคณิตศาสตร์ไว้เพียงเท่านี้ แต่จะเน้นไปที่การอธิบายความหมายทางกายภาพมากกว่าของอนุกรมฟูรีเยร์นี้จะพิจารณาต่อถึงวิธีการหาจำนวน n และขนาด a_n, b_n สำหรับสัญญาณต้นฉบับคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีคาบเวลาเกิดซ้ำ T ดังรูปที่ 2.20



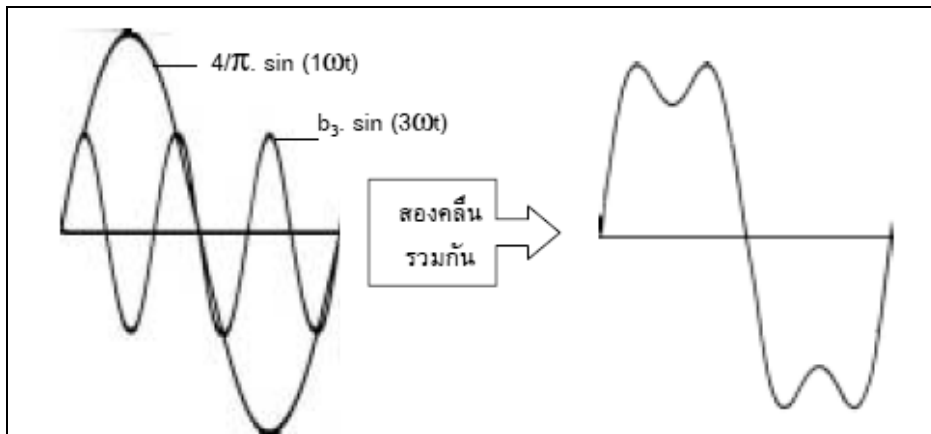
รูปที่ 2.20 สัญญาณต้นฉบับของฟังก์ชันคู่และคี่ของ $x(t)$

ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ไม่มีเทอมฟังก์ชันคู่ เพราะฉะนั้นไม่มีเทอม a_n ($a_n = 0$) แต่จะมีเฉพาะเทอม b_n ถ้าให้คาบเวลาคือ T ให้ $n=1$ เพราะฉะนั้น b_1 คือขนาดของคลื่นไซน์ ณ ความถี่ 1ω ว่าเมื่อนำคลื่นไซน์ไปเทียบกับต้นฉบับแล้วจะให้มีความถี่ b_1 เท่าใด สมมติขนาดคลื่นไซน์เมื่อเทียบกับตัวมันเองให้เป็นความถูกต้องของการเทียบกับต้นฉบับเป็น 100% ดังรูปที่ 2.21ก โดยถ้าให้

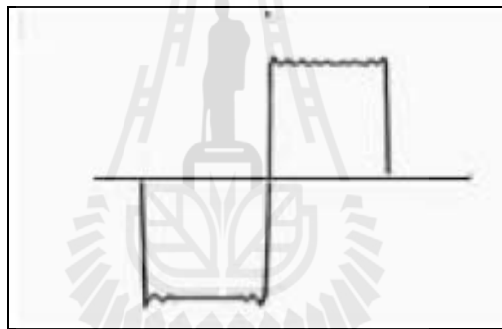
ปริมาณที่ใช้เทียบเป็นต้นฉบับคูณกับสัญญาณขาเข้าที่นำ มาเทียบเคียงและหาพื้นที่ใต้กราฟดังกล่าว ซึ่งเท่ากับ $T/2$ ในกรณีคลื่นขาเข้าเทียบกับคลื่นขาเข้าขนาดเดียวกัน และถ้า นำ คลื่นขาเข้านี้ไปเทียบกับคลื่นสี่เหลี่ยมดังในรูปที่ 2.14 ข โดยคูณคลื่นขาเข้าขนาด 1 หน่วยกับคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ดังที่ได้เป็นรูปที่ 2.21 ข ด้านขวาซึ่งขนาดพื้นที่ใต้รูปเท่ากับ $4T/2\pi$ ซึ่งจะเห็นว่าพื้นที่นี้มากกว่าค่า $T/2$ หรือ ร้อยเปอร์เซ็นต์ของคลื่นขาเข้าเทียบคลื่นขาเข้าอยู่ $4/\pi$ เท่าซึ่งเทอมนี้เองที่เป็นค่า b_1 ในการขยายคลื่นขาเข้าที่มีความถี่ 1ω ให้เทียบเท่ากับต้นฉบับ แต่อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณขาเข้าเพียงหนึ่งเทอมยังไม่สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้ถูกต้อง โดยเฉพาะบริเวณช่วงที่มีการเปลี่ยนของค่าขั้วคลื่น ถ้าเพิ่มคลื่นขาเข้าที่มีความถี่ 3ω เข้าไปด้วยขนาด b_3 จะทำให้สอดคล้องกับต้นฉบับมากขึ้นแสดงในรูปที่ 2.22 ซึ่งขนาด b_3 ก็หาได้ในทำนองเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ $4/3\pi$ ซึ่งถ้าแทน $x(t) \approx \sum b_n \sin n\omega t$ จำนวน $n=41$ เทอมจะได้สัญญาณที่เหมือนต้นฉบับมากในรูปที่ 2.23 นี้เองทำให้เราสามารถวิเคราะห์ความถี่และขนาดของความถี่ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณคาบใด ๆ ก็ได้ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนาจนเป็นการแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็วซึ่งใช้ได้ทั้งกับสัญญาณที่เป็นคาบและไม่เป็นคาบก็ได้และเพิ่มขีดความสามารถในการคำนวณได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 2.24 แสดงการเขียนสมการอนุกรมฟูรีเยร์ที่ใช้แทนสัญญาณแรนดอมซึ่งพบว่าอนุกรมฟูรีเยร์สามารถบรรยายสัญญาณต้นฉบับได้อย่างดี



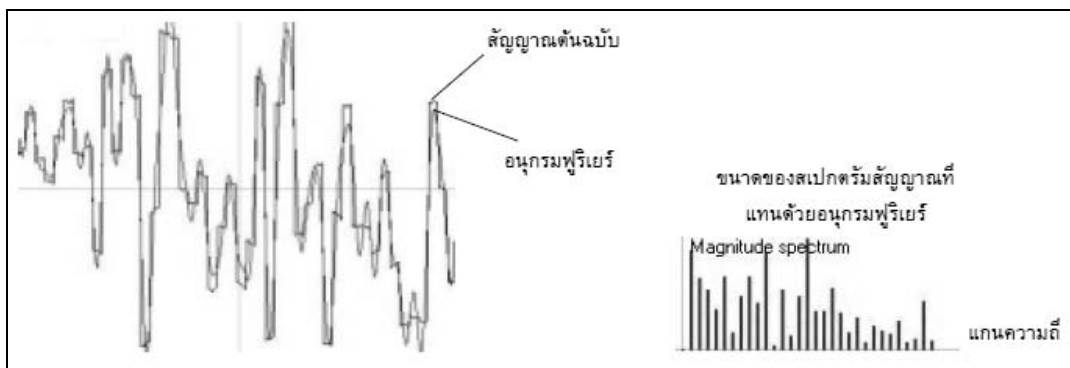
รูปที่ 2.21 การเทียบขนาดสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณต้นฉบับเพื่อหาค่าเทียบเท่าพลังงาน
สัญญาณคลื่นขาเข้ากับต้นฉบับซึ่งพบว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจะต้องแทนด้วย
คลื่นขาเข้าที่มีความถี่เดียวกันและมีขนาดมากกว่า $4/\pi$ เท่า



รูปที่ 2.22 รูปคลื่นไซน์สองคลื่น ๑ ความถี่ 1 เท่า และ 3 เท่า ซึ่งมีการหาขนาดเทียบเท่ากับ สัญญาณต้นฉบับและทำการรวมกันให้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น



รูปที่ 2.23 คลื่นไซน์จำนวน 41 คลื่นด้วยความถี่และขนาดต่าง ๆ กันนำมารวมกันเป็น สัญญาณสี่เหลี่ยมต้นฉบับเดิม



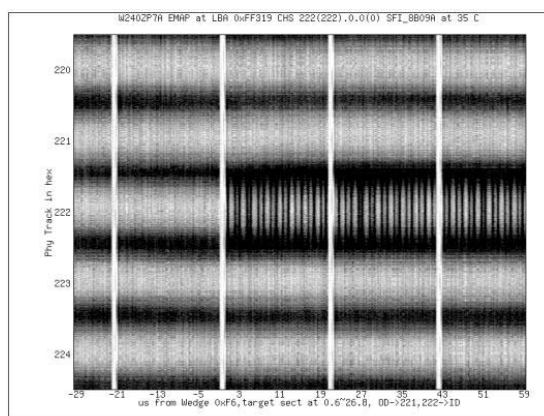
รูปที่ 2.24 สมการอนุกรมฟูรีเยร์ที่ใช้แทนสัญญาณเรณดอม

2.5 ปัญหาจากหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์

เนื่องจากปัญหาที่เกิดจากหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ที่เกิดขึ้น มีทั้งที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและปัญหาที่เกิดจากการเขียนอ่านที่ไม่ดี เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกผลิตและกำหนดระยะเวลาการบินที่จะใช้งานแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปอาจจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันทั้งอุณหภูมิ การเคลื่อนไหว ระหว่างการใช้งาน การสั่นสะเทือน ระยะห่างของหัวอ่านที่กำหนดจากไลน์การผลิตส่วนใหญ่ จะกำหนดให้ระยะห่างการใช้งานของหัวอ่านอยู่ห่างจากแผ่นดิสก์ประมาณ 2 nm – 3 nm ถ้าระยะห่างที่หาได้มีความแม่นยำที่ดีจะป้องกันปัญหาจากแรงการสั่นสะเทือนซึ่งอาจจะทำให้หัวอ่านชูดกับแผ่นดิสก์ได้ จากรูปที่ 2.25 จะแสดงตัวอย่างของปัญหาหัวอ่านสัมผัสแผ่นดิสก์ที่รุนแรงสามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ส่วนรูปที่ 2.26 จะแสดงปัญหาของหัวอ่านสัมผัสแผ่นดิสก์ที่สามารถพบได้เมื่อตรวจสอบด้วยการอ่านสัญญาณเขียน-อ่านที่ตำแหน่งที่มีปัญหานั้น



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างหัวอ่านสัมผัสแผ่นดิสก์อย่างรุนแรง



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างสัญญาณมีปัญหา Modulation

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะพูดถึงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและในส่วนของการดำเนินงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. การหาระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยในการทดลองจะกำหนดตำแหน่งที่หาระยะห่างที่ตำแหน่ง ด้านนอก (OD Zone) ด้านใน (ID Zone) และ ตรงกลาง (MD Zone) ของแผ่นดิสก์

2. การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ โดยการทดลองนี้จะคำนวณหาระยะห่างด้วยสมการ Wallace พร้อมทั้งใช้ Oscilloscope ดูสัญญาณ Amplitude voltage ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าให้หัวอ่าน ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการหาระยะห่างที่ตำแหน่งเดียวกับการทดลองที่ 1

3. การเปรียบเทียบวิธีการหาระยะห่างทั้งวิธีการอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งกับวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญในการวัดที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ โดยการทดลองนี้จะนำวิธีการ F-test ภายใต้งานน่าจะเป็นที่ 0.05

4. การศึกษาระยะห่างที่อุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์ที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการอ่านสัญญาณอ่านกลับที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์

3.1 ข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การศึกษาทำการทดลองหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในงานวิจัยนี้ใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ Seagate Technology ที่มีขนาดความเร็วรอบกำหนดเท่ากับ 7200 รอบต่อนาที มีรัศมีของแผ่นดิสก์ 45 มิลลิเมตร ความเร็วเชิงเส้นเท่ากับ 33.9 เมตรต่อวินาที มีหัวอ่าน 2 หัว ในความจุขนาด 1 TB (เทราไบต์) รูปที่ 3.1แสดงลักษณะของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.1 แสดงฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ในการศึกษาเรื่องการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยสัญญาณอ่านกลับ (Readback) เลือกใช้ Lecroy wavepro 7300A 3GHz Oscilloscope (รูปที่ 3.2) เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณข้อมูลที่เขียนลงบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และอ่านค่าที่ได้จาก function ที่เราต้องการ แล้วนำค่าที่อ่านได้นำไปคำนวณด้วยวิธีการของ Wallace Equation ต่อไป



รูปที่ 3.2 Lecroy wavepro 7300A 3GHz Oscilloscope

ในเรื่องการควบคุมอุณหภูมิในการทดลองนี้ กำหนดให้ใช้เครื่องควบคุมความร้อน โดยให้ความร้อนที่ตัวbaseของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ส่วนด้านบนที่ติดอยู่กับ PCBA จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับ Oscilloscope เพื่ออ่านสัญญาณอ่านกลับ เครื่องควบคุมความร้อน Disk Drive Thermal Conditioner model K49 บริษัท POND Engineering Laboratories (รูปที่3.3) ซึ่งมีความสามารถควบคุมความร้อนในช่วง -5 องศาเซลเซียส ถึง 75 องศาเซลเซียส ในการศึกษานานวิสัยนี้เราจะควบคุมความร้อนที่ 25 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงความร้อนที่ใช้ในการหาระยะห่างของหัวอ่านในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



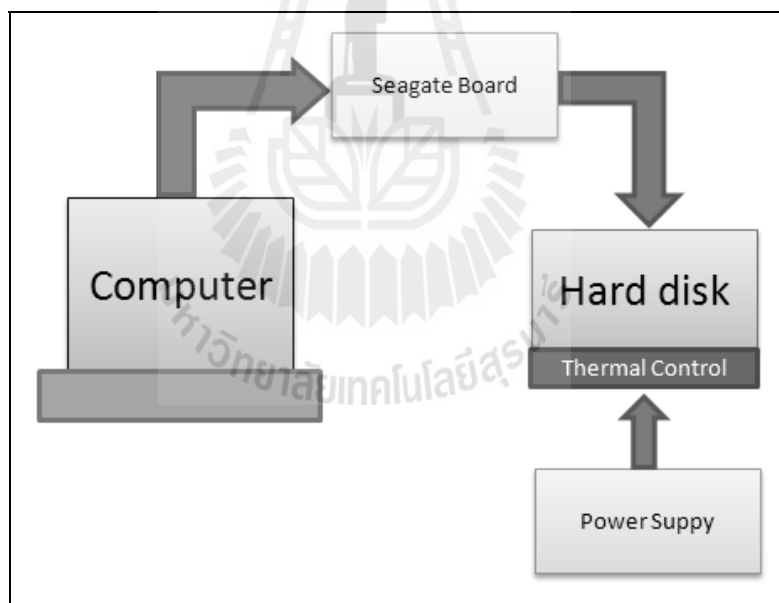
รูปที่ 3.3 Disk Drive Thermal Conditioner model K49

ในส่วนของโปรแกรมและHYPERPORTส่งข้อมูลคำสั่งเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับฮาร์ดดิสก์จะนำ Seagate Technology tool มาใช้ในการศึกษานานวิสัยครั้งนี้

3.3 ขั้นตอนการออกแบบการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

ในการศึกษาการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านสัญญาณคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ได้ข้อมูลระยะห่างมาจากโปรแกรมของ Seagate Technology ซึ่งจะได้ระยะห่าง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่าน จากโปรแกรมจะสามารถแยกข้อมูลออกมาเป็น Time domain และ Frequency domain ในที่นี้เราจะพิจารณาในส่วนของ Frequency domain ซึ่งในโปรแกรมจะแปลงสัญญาณที่ได้ให้อยู่ในรูปของ FFT เราสามารถนำข้อมูลนั้นมาพล็อตกราฟ เพื่อศึกษาพฤติกรรมระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ได้

ในการศึกษาครั้งนี้เราจะทำการหาระยะสัมผัสที่ตำแหน่งด้านนอกของแผ่นดิสก์ OD Zone (Zone 0 และ 1) ด้านในของแผ่นดิสก์ ID Zone (Zone 28 และ 29) และตรงกลางแผ่นดิสก์ MD Zone (Zone 15 และ 16) ซึ่งค่าสัญญาณที่วัดได้จะอยู่ในรูปของ Raw data dPES ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส หลังจากได้ค่าระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ทั้งสามโซนแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป จากรูปที่ 3.4 แสดงหลักการทำการด้วยวิธีการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง เมื่อเราป้อนคำสั่งลงใน โปรแกรมผ่าน Seagate Technology board และ โปรแกรมจะสั่งให้ Preamp ที่อยู่ในแผ่น PCBA เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนกับหัวอ่าน การเพิ่มพลังงานครั้งจะถูกคำนวณหาค่าความต่างของสัญญาณความคลาดเคลื่อน และเมื่อค่าสัญญาณเกินค่า Threshold limit โปรแกรมจะได้ค่าระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ ทำจนครบทุกโซนที่เรากำหนดและทำซ้ำจนครบ 10 ครั้ง หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนความร้อนที่ให้กับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็น 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะห่างกับอุณหภูมิ



รูปที่ 3.4 หลักการทำการทดลองด้วยวิธีอ่านค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

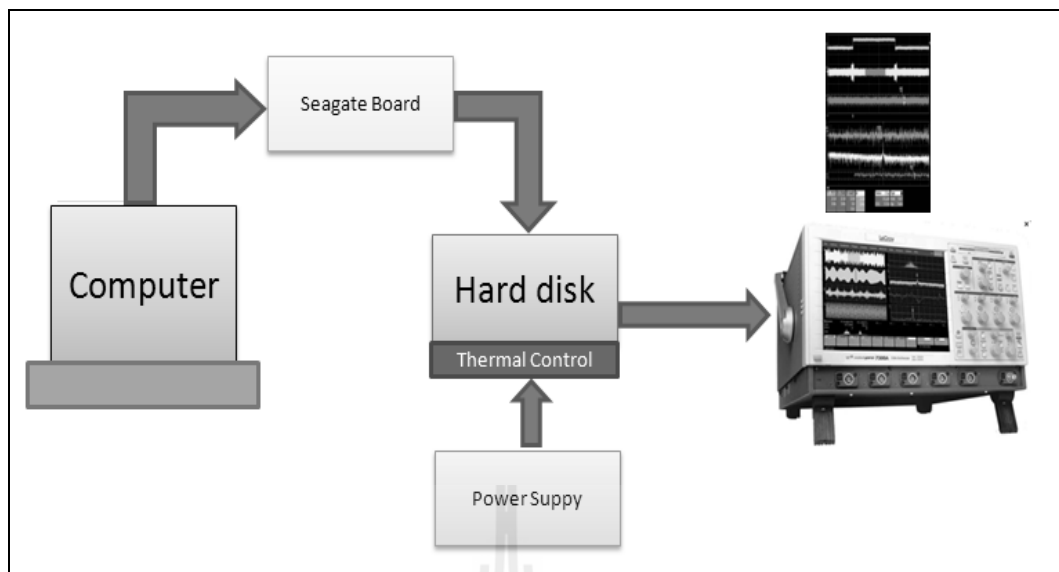
3.4 การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ

เนื่องจากการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ในการบันทึกข้อมูลแนวตั้งนั้น จะเกี่ยวเนื่องกับการอ่านสัญญาณอ่านกลับซึ่งค่าสัญญาณที่ได้จะถูกนำมาคำนวณในสมการ Wallace ในเทอมของแอมป์จูด (Amplitude) ซึ่งแอมป์จูดที่นำมาคำนวณคือขนาดของการเปลี่ยนแปลง

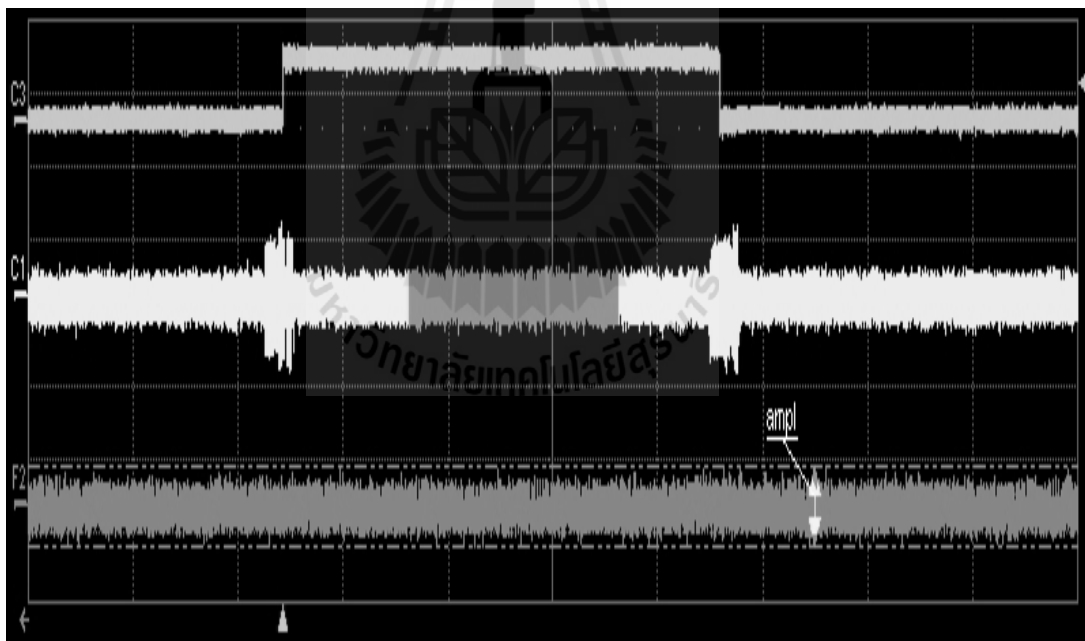
ที่เกิดขึ้นจากการแกว่งตัวในระบบสัญญาณที่มีการแกว่งตัวการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละรอบ ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้อยู่ในคาบการแกว่งตัวปกติจะสามารถวาดเส้นกราฟของระบบออกมาโดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นแกนตั้ง และเส้นเวลาเป็นแกนนอน แสดงให้เห็นภาพของแอมพลิจูดเห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นลงในแนวตั้งระหว่างจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด เรานำค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดของการป้อนพลังงานไฟฟ้าในแต่ละสเตปไปคำนวณหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์โดยใช้สมการของ Wallace Equation

3.4.1 วิธีการหาระยะห่างด้วยสมการ Wallace

การหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการอ่านกลับของค่าสัญญาณผ่านสมการ Wallace จากการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้หาระยะจุดสัมผัสที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ ตำแหน่งด้านในของแผ่นดิสก์และตำแหน่งด้านนอกของแผ่นดิสก์ เริ่มต้นเราจะทำการป้อนคำสั่งให้หัวอ่านไปยังตำแหน่งของแผ่นดิสก์ที่เรากำหนด จากนั้นเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ในที่นี้เราจะเขียนข้อมูล 2T ลงไปบนแผ่นดิสก์ หลังจากนั้นป้อนคำสั่งอ่านเพื่อให้หัวอ่านได้อ่านข้อมูลที่ทำการเขียน โดยทำการป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่หัวอ่านด้วยการเพิ่มเป็นสเตปแล้วนำค่าขนาดของแอมพลิจูดแรงดันที่ได้ไปคำนวณในสมการ AR method เมื่อป้อนพลังงานจนถึงระยะที่หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์แล้ว จากนั้นทำการเขียนข้อมูล 6T และทำการอ่านสัญญาณอ่านกลับอีกรอบ นำค่าที่คำนวณได้จากสมการ AR ไปใช้คำนวณต่อในสมการ HR เพื่อยืนยันระยะห่างอีกครั้ง จากรูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของวิธีการหาระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ เมื่อทำการวัดสัญญาณการอ่านกลับดังรูปที่ 3.6 จะแสดงสัญญาณที่วัดได้จากการอ่านข้อมูลที่เขียน pattern ลงในแทร็คของแผ่นดิสก์ กราฟด้านบนแสดงสัญญาณข้อมูลตรงกลางของรูปจะแสดงค่าสัญญาณที่เขียนลงในแผ่นดิสก์ ส่วนด้านล่างจะแสดงข้อมูลที่เขียนขยายออกมาเป็นช่วงที่สนใจ



รูปที่ 3.5 หลักการทำการทดลองด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ

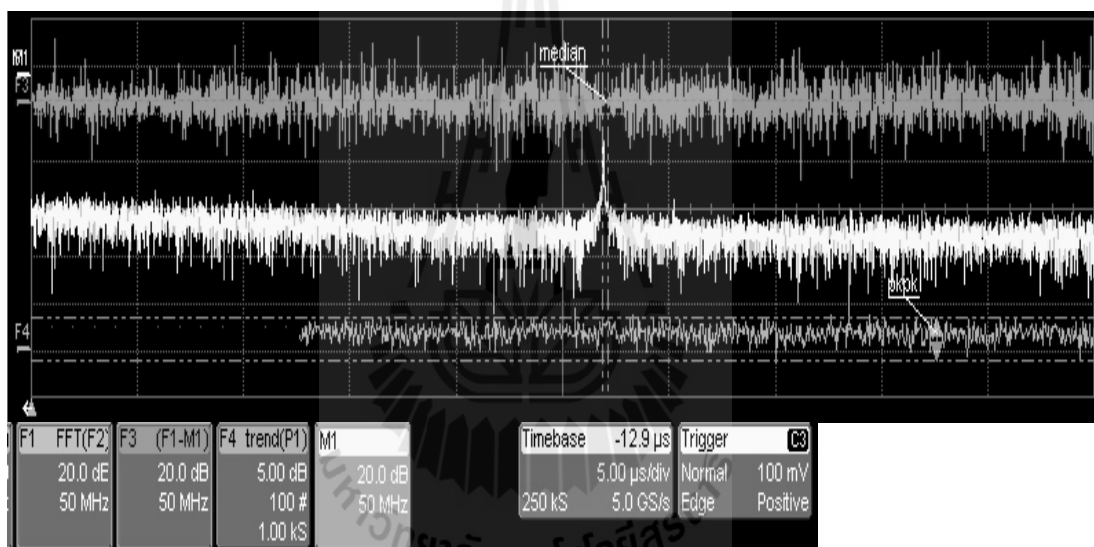


รูปที่ 3.6 Amplitude Voltage (mV) ของสัญญาณอ่านกลับ

3.4.2 วิธีการหา Delta FFT กับสัญญาณอ่านกลับด้วย Oscilloscope

การนำสัญญาณอ่านกลับที่อยู่ในรูป Voltage Amplitude มาทำ FFT ก็เพื่อยืนยันว่าค่าสัญญาณแอมป์จูดมีการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองไปหลังจากที่หัวอ่านได้สัมผัสกับแผ่นดิสก์

แล้ว ซึ่งการปรับแต่งค่า FFT จาก Lycroy Oscilloscope ได้มาจากสัญญาณแอมป์จูดจากรูปที่ 3.6 มาใช้ ซึ่งในรูปที่ 3.7 จะแสดงถึงการหา FFT ของสัญญาณอ่านกลับ จากรูปกราฟตรงกลางจะแสดงถึงค่า FFT จะมีอยู่สองค่า เมื่อทำการป้อนกระแสครั้งแรกจะมีการเก็บค่า FFT ไว้อ้างอิง หลังจากนั้น จะทำการป้อนพลังงานเพิ่มขึ้น เพื่อทำการหาค่าความต่างของสัญญาณ FFT ทั้งสัญญาณก่อน และหลัง ซึ่งจะถูกแสดงไว้กราฟด้านบนของรูป จะเห็นตำแหน่งที่เราเขียนข้อมูลลงไปบนแผ่นดิสก์ จะมีขนาดความต่างของ FFT ที่น้อยที่สุด หลังจากนั้นจะทำการแยกดูช่วงสัญญาณการเขียนซึ่ง จะแสดงในส่วนของกราฟด้านล่างของรูปภาพ หลังจากที่ได้ค่า trend แล้วขั้นตอนต่อไปจะ ทำการวัดค่า Peak-to-Peak และทำการอ่านค่าสัญญาณ ที่ได้ ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงมาในรูป dB และ นำไปวิเคราะห์



รูปที่ 3.7 การหา Delta FFT ในขณะที่มีการป้อนกระแสเข้าสู่หัวอ่าน

3.5 การเปรียบเทียบการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความลาดเคลื่อน กับวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ

ในการเปรียบเทียบระยะห่างที่หามาได้ว่ามีความแม่นยำเพียงใดระหว่างวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับวิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ โดยในขั้นตอนการทดลองนี้เราจะทำการวัดระยะของหัวอ่านที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นตำแหน่งที่พบปัญหาในปัจจุบัน โดยเราจะเลือกฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟมาทั้งหมด 20 ตัว และใช้หัวอ่านที่ตำแหน่งด้านบนสุดเป็นตัววัดระยะห่างทั้ง 2 วิธี แล้วนำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กันด้วยวิธีแบบ F-test ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ว่าวิธีการทั้งสอง

แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติหรือไม่ กำหนดให้วิธีการอ่านค่าสัญญาณความคาดเคลื่อนของตำแหน่งเป็นวิธีการที่ 1 ส่วนวิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับเป็นวิธีการที่ 2 โดยการพิจารณาเราจะเลือกใช้ค่า F ที่ภายใต้ความน่าจะเป็น 0.05 ที่มากกว่าค่าที่กำหนด (ตารางภาคผนวก) โดยจะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เทอม F_{cal} คืออัตราส่วนของค่าแวนเรียนซ์ (variance, v) หรือค่าอัตราส่วนของ S^2 (ค่าเบี่ยงเบนยกกำลัง 2) โดยจะได้สมการ (3.1) ดังนี้

$$F_{cal} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (3.1)$$

เมื่อ S_1, S_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์วิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2

v_1, v_2 คือ ค่าแวนเรียนซ์ของการวิเคราะห์วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

โดยที่ $F_{cal} < F_t$ แสดงว่าการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความเที่ยงตรงไม่แตกต่างกัน

$F_{cal} > F_t$ แสดงว่าการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ

หลังจากได้ค่า F_{cal} จากการคำนวณแล้วจะทำการเปรียบเทียบว่าการวัดทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

3.6 การหาความสัมพันธ์ของระยะห่างที่มีผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ในการทดลองนี้เราจะทำการทดสอบหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ โดยการเลือกฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟมาทั้งหมด 20 ตัว ทำการวัดระยะห่างที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างของหัวอ่านในอุณหภูมิที่เกิดจากเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ในการทดลองนี้เราจะใช้เรื่องควบคุมความร้อน (รูปที่ 3.3) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นจะทำการวัดระยะห่างที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ ทำการทดลองฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟจนครบ 20 ตัว หลังจากนั้นนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบระยะห่างระหว่าง 25 กับ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง 25 กับ 50 องศาเซลเซียส

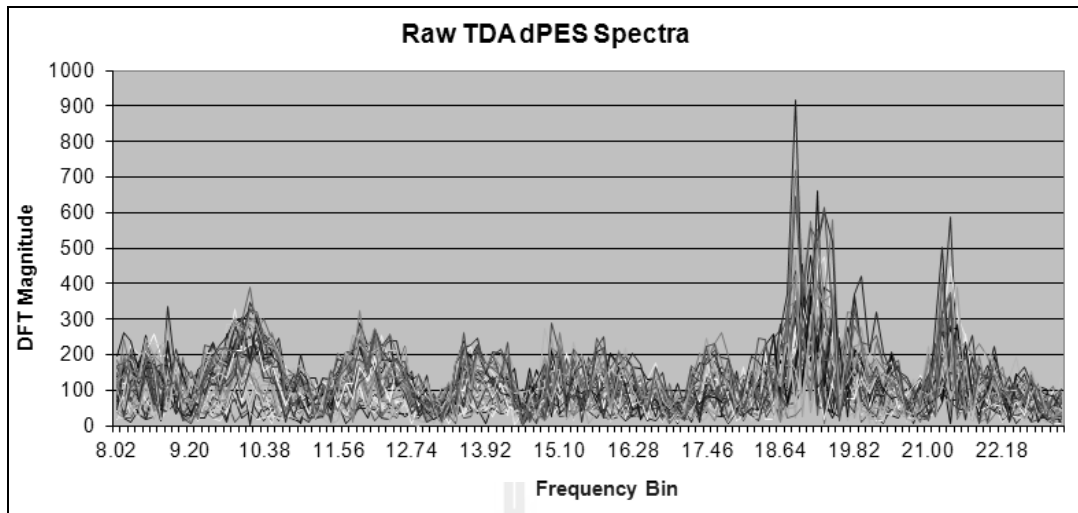
บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์ผลการวิจัย

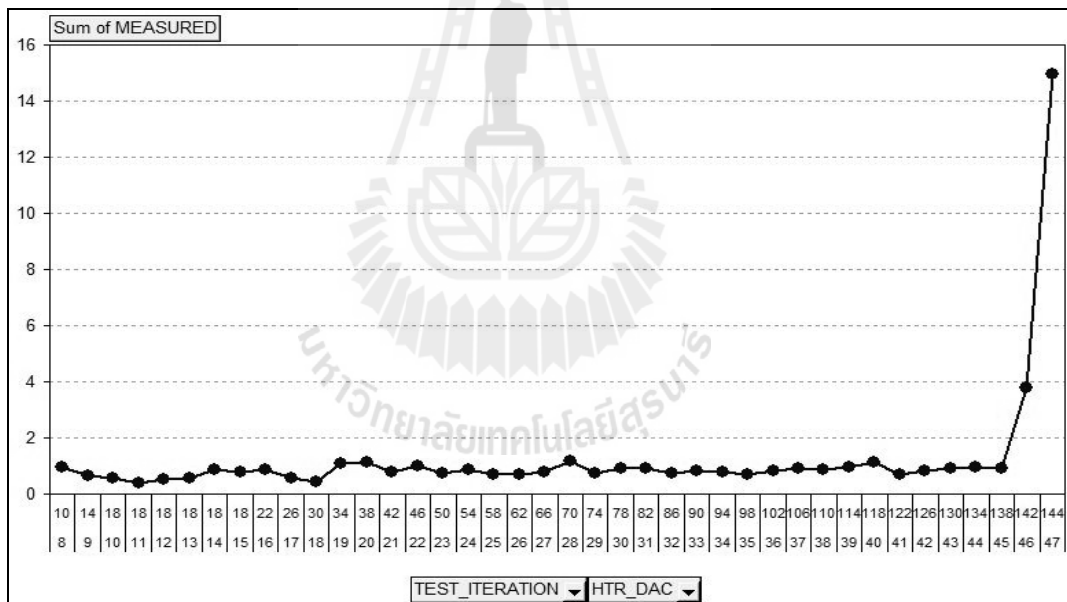
ในบทนี้จะแสดงผลจากการศึกษาในเรื่องการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ ซึ่งในการวิจัยนี้จะสนใจในตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์เป็นหลัก การเปรียบเทียบวิธีการวัดระยะห่างทั้งสองวิธีและความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับระยะห่างของหัวอ่าน ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

จากการศึกษาเรื่องการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งข้อมูล Servo จากการศึกษาระยะห่างที่ตำแหน่งด้านนอก (Zone 0-1) ด้านใน (Zone 28-29) และตรงกลางของแผ่นดิสก์ (Zone 15-16) ค่าสัญญาณที่วัดได้จะอยู่ในรูปของ Raw dPES Spectra ซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้มาจาก Seagate Technology Program ดังรูปที่ 4.1 เป็นตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DFT Magnitude กับ Frequency (kHz) จะพบว่าที่ความถี่ประมาณ 18KHz ค่า dPES Spectra จะมี Peak ที่สูง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะสอดคล้องกับการวิจัยของ Boettcher, 2010 คือเมื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความร้อนเข้าหัวอ่านที่ละสเต็ปไปเรื่อย ๆ จนถึงระยะที่หัวอ่านเริ่มสัมผัสกับแผ่นดิสก์ค่า Spectra PES ก็จะสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ซึ่งหลังจากนั้น โปรแกรมจะคำนวณค่าที่ได้ทำเป็น Normalize spectra เมื่อเรานำค่าที่ทำการแปลงแล้วมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหัวอ่าน ในโปรแกรมจะใช้การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นค่า Digital to Analog Converter (DAC) โดยที่ค่า DAC จะมีหน้าที่แปลงคำสั่งให้ Preamp เพื่อจ่ายเพิ่มพลังงานไฟฟ้าป้อนความร้อนเข้าสู่หัวอ่าน จากรูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างค่าสัญญาณ dPES ที่ทำการแปลงค่าแล้วเทียบกับค่า Heater DAC จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าไปเรื่อย ๆ ในระยะแรกค่าของ dPES จะค่อนข้างใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้น จนเราพบว่าค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อทำการเพิ่มกระแสต่อจะพบว่าค่าที่อ่านได้ก็จะสูงต่อดังนั้นจุดนี้เองที่ทำให้เราพบว่าเป็นจุดที่สัมผัสระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT Magnitude กับ Frequency (kHz)

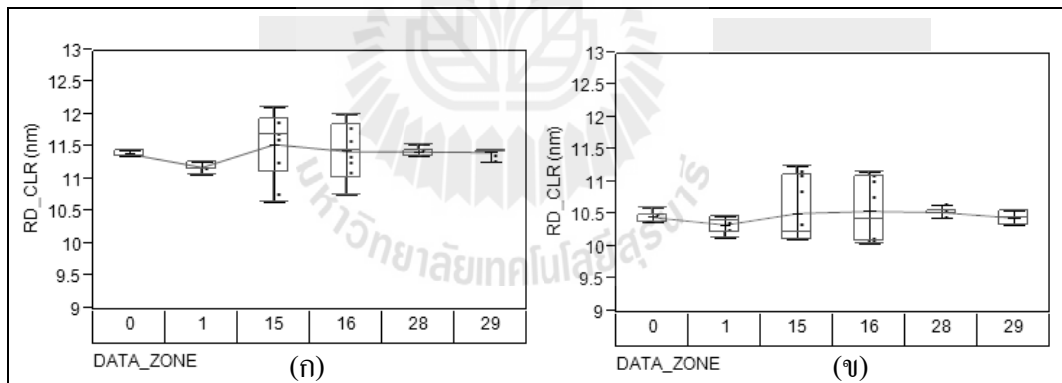


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Heater DAC กับ dPES

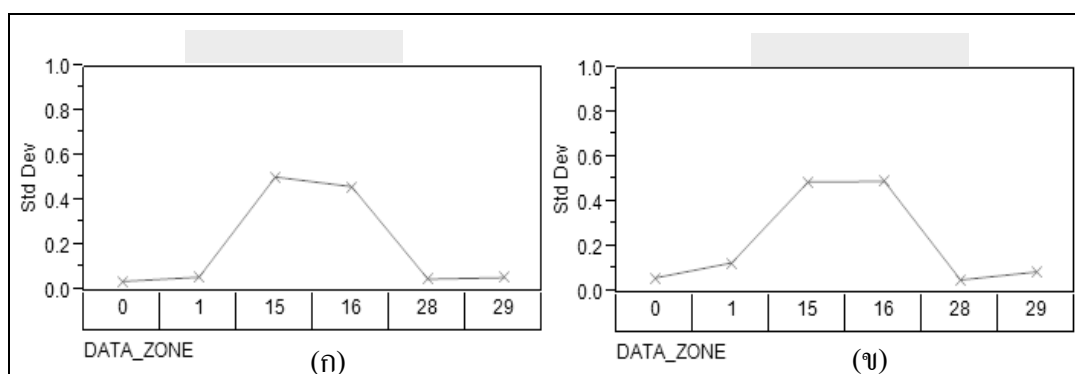
4.1.1 ผลการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

นำข้อมูล Heater DAC ที่เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้หัวอ่านที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส ที่ได้จากการทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง ไปแปลงค่าเป็นระยะห่าง (nm) ในการทดลองนี้จะได้อ่านค่าระยะห่างมาจากโปรแกรม Seagate measurement นำค่าที่ได้ไปพล็อตแบบ Variability gauge ซึ่งจากการวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม JMP9 เป็นเครื่องมือพล็อตค่า

ของระยะห่าง จากรูปที่ 4.3ก เป็นการหาระยะห่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะพบว่าระยะห่างของหัวอ่านที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์มีค่าระยะห่างของการอ่าน (RD_CLR) ที่มีช่วงข้อมูลกว้างกว่าช่วงด้านนอกและด้านในของแผ่นดิสก์ จากนั้นทำการป้อนกระแส Heater DAC ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในรูปที่ 4.3ข ก็จะพบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์มีค่าระยะห่างของหัวอ่านมีช่วงข้อมูลของระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่กว้างกว่าด้านนอกและด้านในแผ่นดิสก์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง เมื่อหัวอ่านยื่นตัวออกเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการป้อนพลังงานไฟฟ้าจนถึงระยะหัวอ่านสัมผัสกับชั้น Lube บนแผ่นดิสก์ ทำให้หัวอ่านเกิดการ off track ทางข้อมูลและสัญญาณที่อ่านจะแตกต่างออกจากเดิม ค่าความต่างของสัญญาณนั้นจะถูกนำมาใช้หาระยะห่าง ถ้านำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางข้อมูล (Standard Deviation) ไปพล็อต ดังรูปที่ 4.4ก และ 4.4ข ก็จะพบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์มีค่าเบี่ยงเบนที่สูงกว่าตำแหน่งด้านในและด้านนอกแผ่นดิสก์ ทำให้ทราบว่า การหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจะให้ค่าเบี่ยงเบนในการวัดที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ที่มาก (กิตติศักดิ์, 2543) เนื่องจากองศาทำมุมระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์เป็น 0 องศา (skew angle = 0)



รูปที่ 4.3 ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ (ก) 25 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 ค่าการเบี่ยงเบนข้อมูลการวัด (ก) 25 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการวัดระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณ

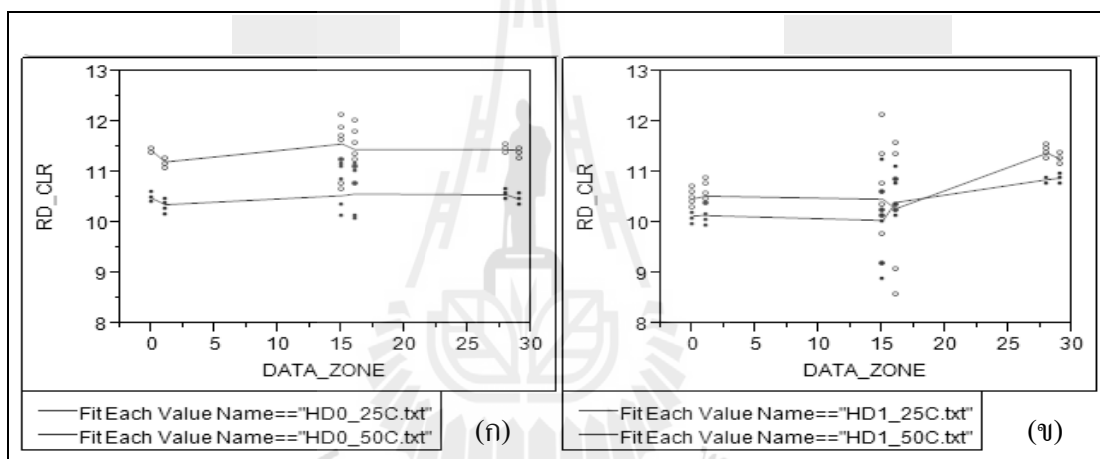
ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

เมื่อเรานำค่าการเบี่ยงเบนของระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองด้วยการอ่านค่าสัญญาณความแตกต่างของตำแหน่งจำนวน 10 รอบ บนแต่ละตำแหน่งของแผ่นดิสก์ ไปคำนวณหาค่าความแม่นยำในการหาระยะห่างด้วยค่า %RSD (Relative Standard Deviation) ซึ่งค่า %RSD จะบ่งบอกว่าข้อมูลที่วัดได้นั้นแม่นยำเพียงใด ค่า %RSD ที่คำนวณได้น้อยจะมีความแม่นยำสูงกว่าค่าที่มาก (Dodge, 2003) จากตารางที่ 4.1 จะแสดงค่า %RSD ในการวัดระยะห่างในแต่ละตำแหน่งของแผ่นดิสก์ เราจะพบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางจะได้ค่าความแม่นยำที่ต่ำกว่าที่ตำแหน่งด้านนอกและด้านใน

ตารางที่ 4.1 ค่า SD และ % RSD ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

Data Zone	อุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์			
	25 องศาเซลเซียส		50 องศาเซลเซียส	
	SD	%RSD	SD	%RSD
0	0.046	0.407	0.069	0.665
1	0.065	0.583	0.136	1.32
15	0.513	4.436	0.499	4.729
16	0.470	4.105	0.501	4.739
28	0.057	0.497	0.060	0.571
29	0.064	0.556	0.096	0.920

หลังจากนั้นทำการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวเดียวกันแต่อยู่คนละหน้าของแผ่นดิสก์ ในรูปที่ 4.5ก จะพบว่าหัวอ่านตัวที่ 1 ค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่อุณหภูมิของฮาร์ดดิสก์ที่ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าระยะห่างที่สูงกว่าที่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 nm ส่วนรูปที่ 4.5ข จะแสดงระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์บนหัวอ่านตัวที่ 2 จะพบว่าระยะห่างที่ต่างกันระหว่าง 25 กับ 50 องศาเซลเซียสอยู่ 0.5 nm แต่จากผลการทดลองจะพบว่า หัวอ่านตัวที่ 2 ที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ ค่าเฉลี่ยของระยะห่างที่ zone 16 ที่ 50 องศาเซลเซียสจะอยู่ต่ำกว่า ซึ่งแตกต่างจากหลักการออกแบบ Air bearing surface และตามหลักการยกตัวของหัวอ่าน ยิ่งอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นยิ่งมีระยะห่างที่ต่ำลง (Zhou ,2009)



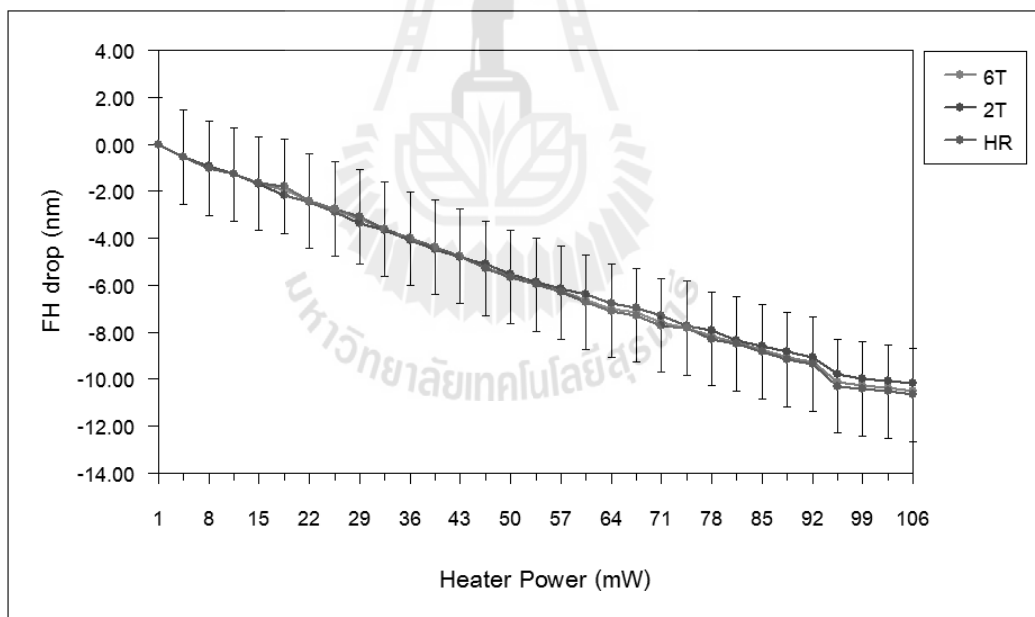
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ตัวเดียวกัน

4.2 การหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการอ่านสัญญาณอ่านกลับ

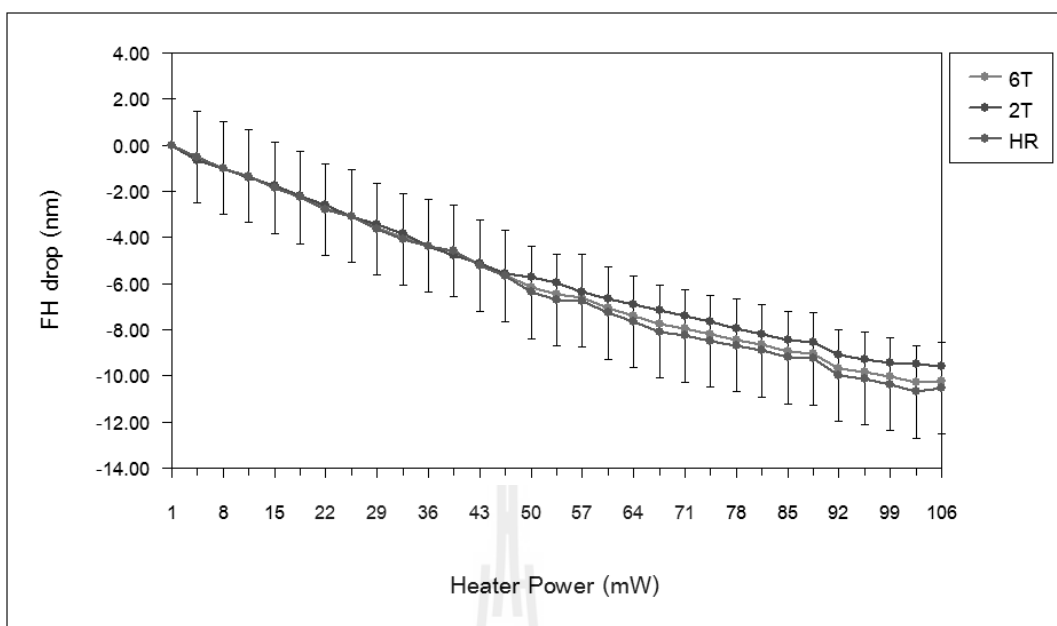
4.2.1 ผลการหาระยะห่างด้วยวิธีการอ่านสัญญาณอ่านกลับ

จากการศึกษาเรื่องการหาระยะห่างด้วยวิธีการอ่านสัญญาณอ่านกลับ เมื่อทำการป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนเข้าสู่หัวอ่านที่ตำแหน่ง 0 skew angle หรือที่แทร็คตรงกลางแผ่นดิสก์ จากนั้นทำการอ่านค่า amplitude voltage ของสัญญาณการอ่าน และค่า peak-to-peak trend จากการนำ delta FFT ด้วยเครื่อง Oscilloscope ที่วัดได้ หลังจากนั้นได้นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณในสมการ (1-13) ซึ่งอธิบายไว้ในบทที่ 3 นำค่าที่คำนวณได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างที่สูญเสียไปกับกระแสที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่าน จะได้ความสัมพันธ์กันตามรูปที่ 4.6 จากรูปจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างที่สูญเสียกับกระแสที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่าน เมื่อเราทำการป้อนกระแส

เข้าสู่หัวอ่านและนำค่าขนาดแอมป์จูดที่ได้ไปคำนวณระยะห่างจะพบว่า เมื่อกระแสมากขึ้นหัวอ่านก็จะลดลงเข้าใกล้กับแผ่นดิสก์มากขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อกระแสถูกป้อนเข้าไประยะหนึ่งแล้วพบจุดที่ค่าสโลป (Slope) เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเมื่อ Slope เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จุดที่เริ่มเปลี่ยนแปลงก็คือจุดที่หัวอ่านมีการสัมผัสกับแผ่นดิสก์ (Yuan, 2008) และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าหัวอ่านตัวที่ 1 จะมีระยะจุดสัมผัสในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 9.7 nm และมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในหัวอ่านอยู่ที่ 96 mW หลังจากที่เราลองเพิ่มกระแสไฟฟ้าต่อจะพบว่า ระยะห่างของหัวอ่านจะลดลงเล็กน้อยจากจุดที่ Slope เริ่มเปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิภายนอกฮาร์ดดิสก์เป็น 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดลองซ้ำอีกครั้งที่ตำแหน่งหัวอ่านและแผ่นดิสก์เดิม จะพบว่าหัวอ่านจะมีระยะจุดสัมผัสซึ่งแสดงในรูปที่ 4.7 อยู่ที่ 9.2 nm และมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในหัวอ่านอยู่ที่ 92 mW หลังจากที่เราลองเพิ่มกระแสไฟฟ้าต่อจะพบว่า ระยะก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากจุดที่เริ่มสัมผัส จากการทดสอบทั้งสองอุณหภูมิจะพบว่าที่อุณหภูมิต่างกัน จะมีระยะห่างที่แตกต่างกันประมาณ 0.5 nm



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Heater Power (mW)
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Heater Power (mW)
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

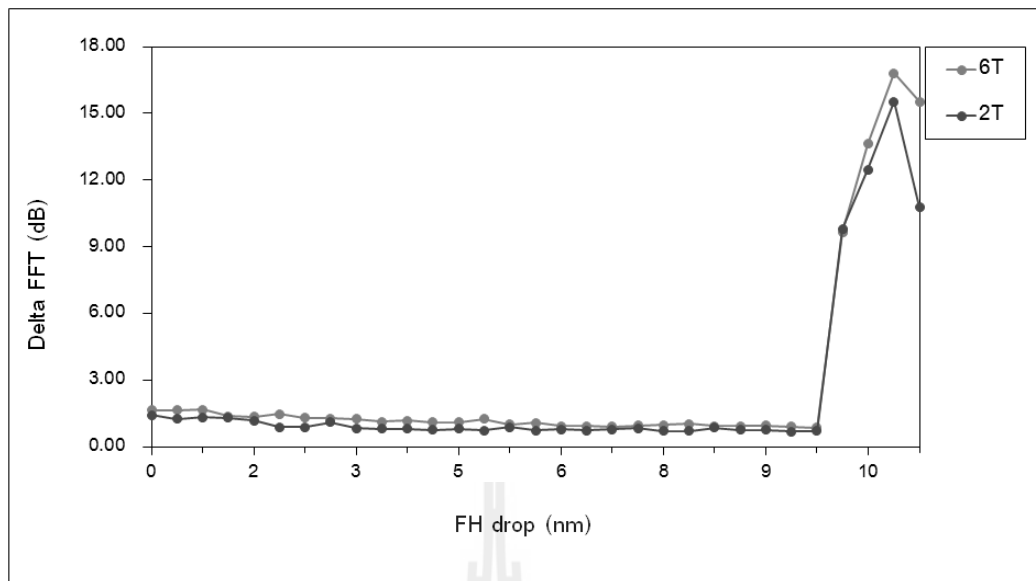
4.2.2 ผลของการอ่านสัญญาณด้วย Delta FFT

จากการทดสอบด้วยวิธีการหาค่าสโปลที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะทำให้ยากในการสังเกตจุดที่ Stop เริ่มเปลี่ยนไป ดังนั้นเราจึงต้องนำขนาดของแอมป์จูดที่ได้มาทำให้อยู่ในรูป FFT ซึ่งเราใช้ฟังก์ชันจาก Oscilloscope มาใช้ในการหาขนาดของ Delta FFT ซึ่งหาค่าของขนาด Peak-to-Peak ของ Delta FFT เมื่อถึงระยะที่หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ ค่าสัญญาณ Peak to Peak ของ Delta FFT จะโชว์ค่าที่สูงขึ้น จากกราฟล่างสุดในรูปที่ 4.8 แสดงถึงลักษณะของ peak to peak ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเพิ่มกระแสเข้าสู่หัวอ่านและเมื่อถึงจุดที่เป็นจุดสัมผัสของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์

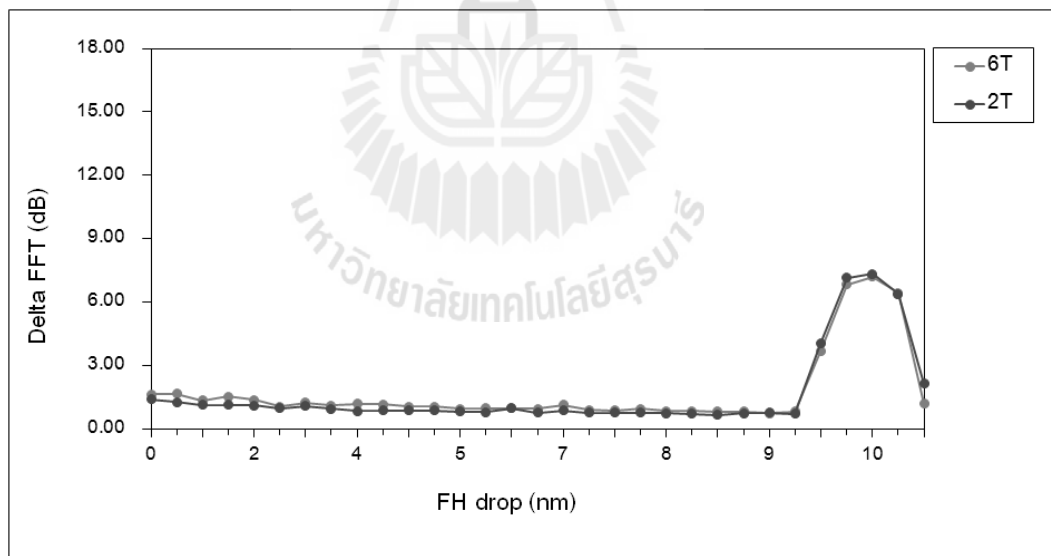


รูปที่ 4.8 ลักษณะของค่า pkp trend เมื่อหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์

หลังจากที่ได้ค่า peak-to-peak ของ Delta FFT จะนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่านและค่า Delta FFT peak-to-peak ที่ได้จากการวัดสัญญาณอ่านกลับด้วย Oscilloscope พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อถึงระยะสัมผัสตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่า delta FFT จะสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญทั้งจากการเขียนด้วย 2T และ 6T pattern และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์เป็น 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดลองซ้ำอีกครั้งที่ตำแหน่งหัวอ่านและแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งเดิม จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่า delta FFT จะสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อถึงระยะสัมผัสระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ ซึ่งจะสอดคล้องกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่านที่จุดสัมผัสกับระยะห่างที่สูญเสียไปในรูปที่ 4.6 และ 4.7



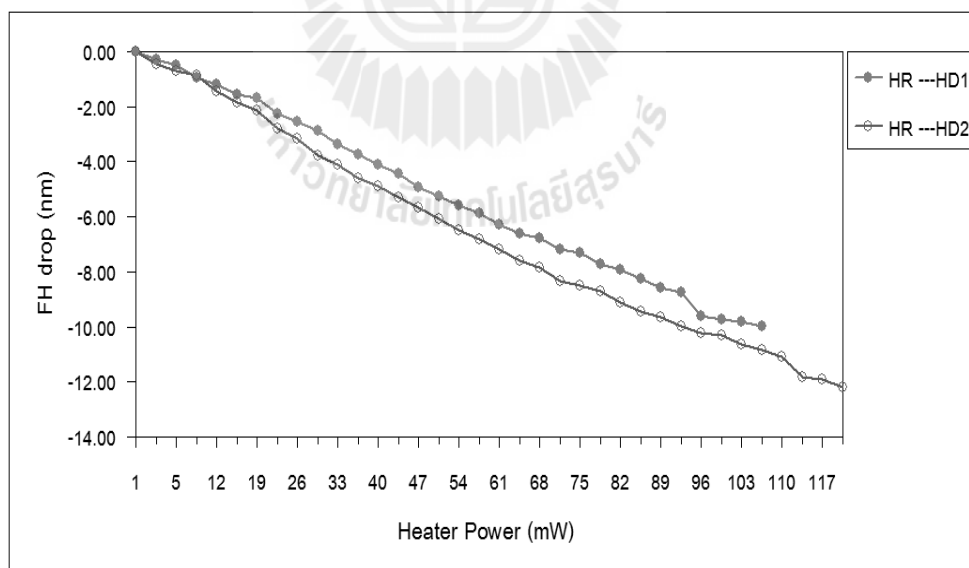
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT peak to peak
ที่ 25 องศาเซลเซียส



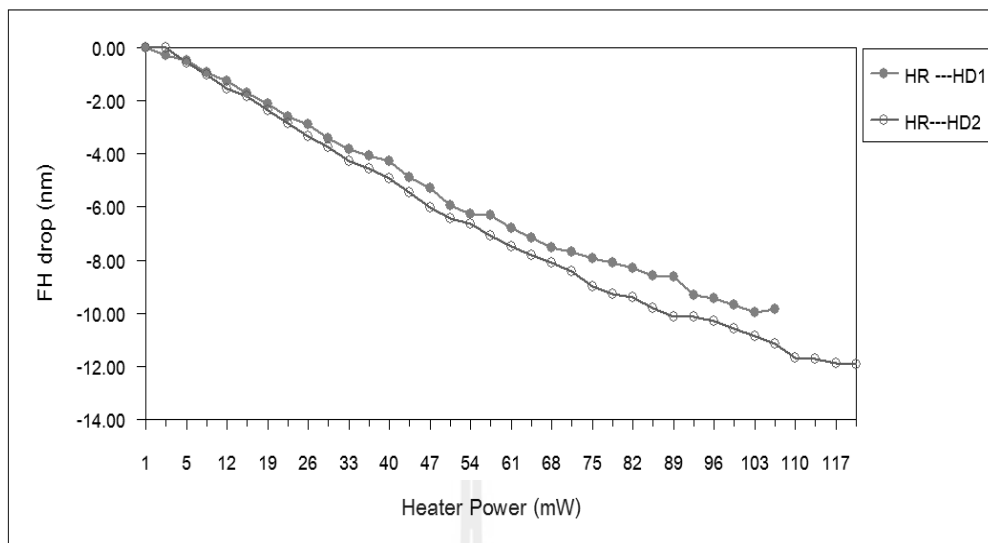
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT peak to peak
ที่ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการหาระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์จากหัวอ่านตัวที่แล้วต่อไปจะทำการหาระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในหัวอ่านที่ 2 ซึ่งประกอบอยู่ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ตัวเดียวกันแต่อยู่คนละหน้าของแผ่นดิสก์ เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วนำค่ามาคำนวณและนำมาเปรียบเทียบกับหัวอ่านตัวที่ 1 ด้วยกราฟ HR ในรูปที่ 4.11 จากรูปจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้หัวอ่านกับระยะที่สูญเสียไปที่ 25 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบระหว่างหัวอ่านตัวที่ 1 และหัวอ่านตัวที่ 2 ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวเดียวกับแต่อยู่คนละหน้าแผ่นดิสก์ เราจะพบว่าเมื่อเราเพิ่มกระแสไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความร้อนให้หัวอ่านขึ้นเข้าใกล้แผ่นดิสก์ ระยะห่างของหัวอ่านจะลดลงตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหัวอ่าน จนถึงจุดที่ค่าสโลปมีการเปลี่ยนแปลงไป และระยะที่จุดสัมผัสของทั้งสองหัวอ่านก็แตกต่างกัน ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าหัวอ่านที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวเดียวกัน จะต้องการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์แต่ละหัวอ่านแยกกัน ทุกครั้งหลังจากนั้นจึงทำการทดสอบหาระยะการบินที่ 50 องศาเซลเซียสอีกครั้ง เมื่อทำการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้หัวอ่านกับระยะห่างที่สูญเสียไป ในรูปที่ 4.12 พบว่ากราฟที่ได้เหมือนกับกราฟที่ 25 องศาเซลเซียส คือเมื่อทำการเพิ่มกระแสไฟฟ้ามากขึ้นหัวอ่านก็จะยื่นต่ำลงเรื่อย ๆ จนหัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ ซึ่งจากการทำการทดลองหัวอ่านทั้งสองเราจะพบว่าระยะที่หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีระยะห่างของหัวอ่านที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และค่ากระแสที่ป้อนเข้าสู่หัวอ่านที่ตำแหน่งที่หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ที่อุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์ที่ 50 องศาเซลเซียสจะต่ำกว่าที่ 25 องศาเซลเซียสด้วย

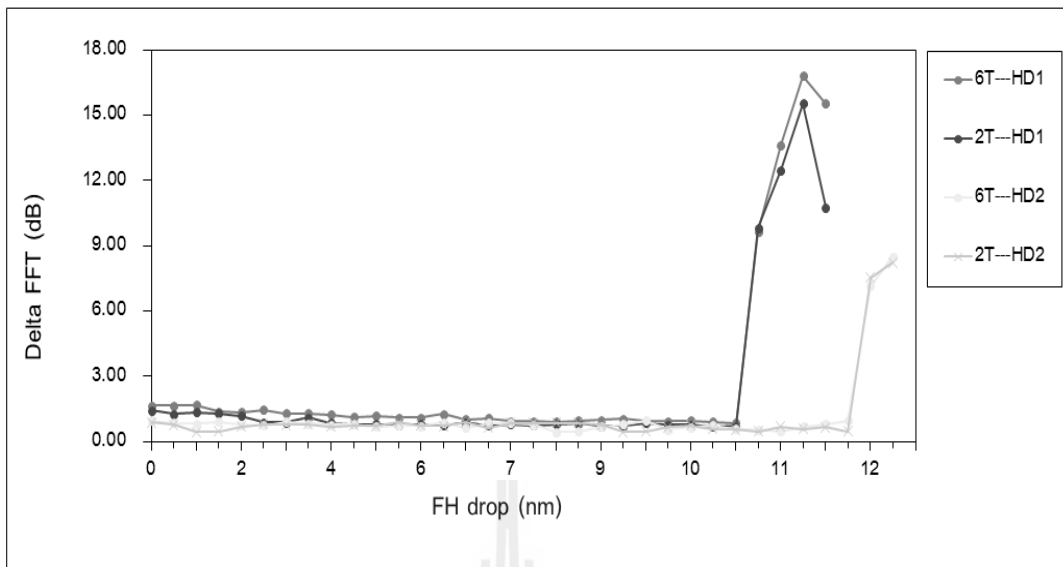


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Heater Power (mW) กับ FH drop (nm) ระหว่างหัวอ่านที่ 1 และ 2 ที่ 25 องศาเซลเซียส

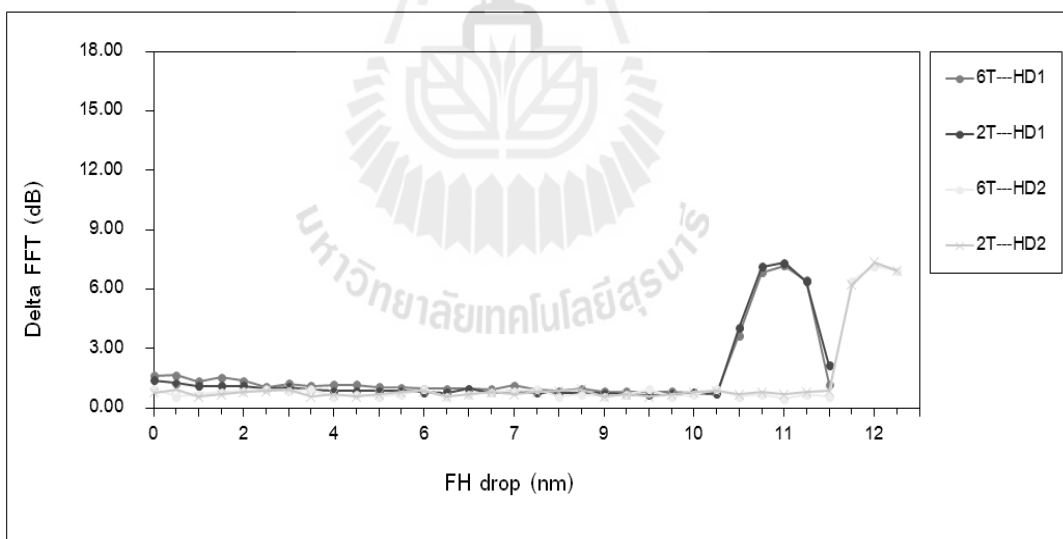


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Heater Power (mW) กับ FH drop (nm) ระหว่างหัวอ่านที่ 1 และ 2 ที่ 50 องศาเซลเซียส

จากการนำค่า Δ FFT มาพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าการป้อนกระแสไฟฟ้า กับค่า Δ FFT เปรียบเทียบกันระหว่างหัวอ่านตัวที่ 1 และหัวอ่านตัวที่ 2 จากรูปที่ 4.13 จะแสดงค่า peak to peak ของ Δ FFT กับค่า FH drop (nm) ของทั้งสองหัวอ่านในอุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งหัวอ่านทั้งสองก็ให้ผลออกมาเหมือนกันคือเมื่อหัวอ่านยัดมากขึ้นจนค่า peak to peak ของ Δ FFT สูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อหัวอ่านเกิดการสัมผัสกับแผ่นดิสก์ หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบเพิ่มอุณหภูมิของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เป็น 50 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าเมื่อค่า peak to peak ของ Δ FFT สูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ซึ่งเหมือนกับการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส และจะสอดคล้องกับระยะห่างของค่าที่ Slope เปลี่ยนแปลงไปในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Heater Power (mW) กับ ค่าระยะห่างที่สูญเสียไปเนื่องจากการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่หัวอ่าน



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT pkp ระหว่างหัวอ่านที่ 1 และ 2 ที่ 25 องศาเซลเซียส

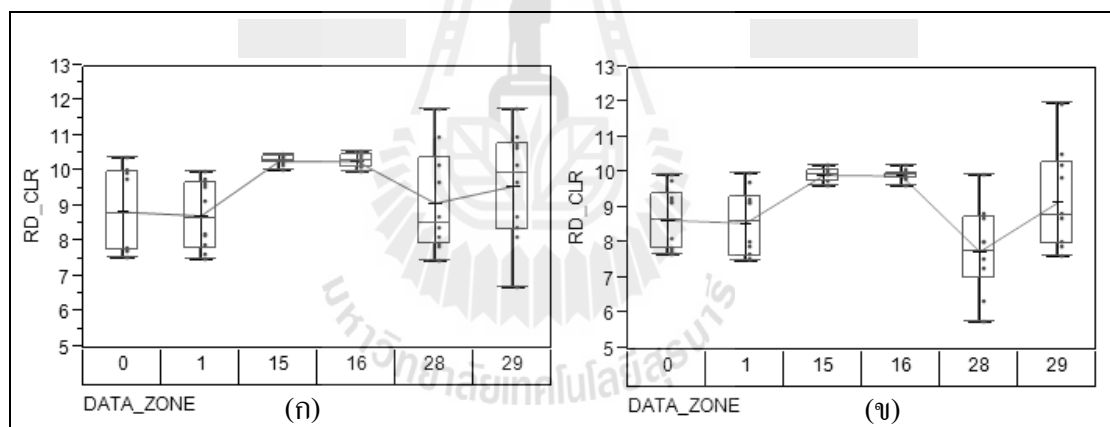


รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง FH drop (nm) กับ Delta FFT pkp ระหว่างหัวอ่านที่ 1 และ 2 ที่ 50 องศาเซลเซียส

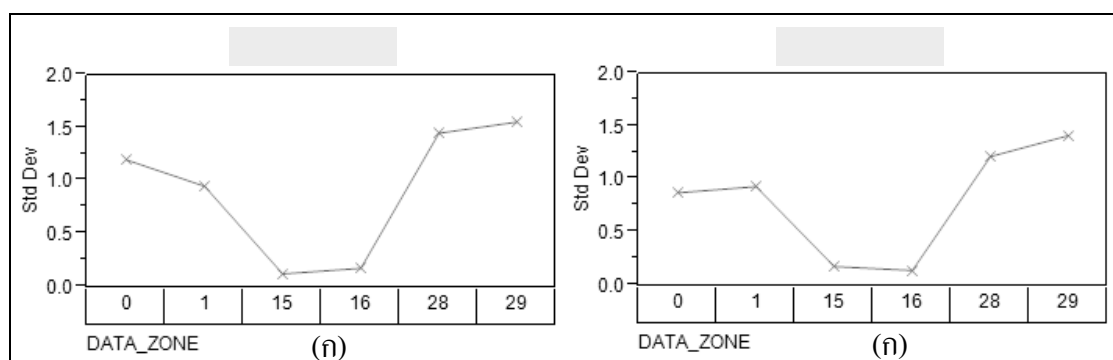
4.2.3 การวิเคราะห์ผลการวัดระยะห่างของวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ

จากการทำการทดลองหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ จากงานวิจัยของ Z. M. Yuan, 2008 ได้กำหนดให้การหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีนี้

ทำที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ 0 Skew angles แต่งานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วนของตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแผ่นดิสก์ด้วย เพื่อศึกษาถึงระยะห่างในตำแหน่งอื่น ๆ เมื่อหากวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ โดยใช้วิธีดำเนินการเกี่ยวกับการหาระยะห่างที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ จากผลการทดลองเมื่อทำการวัดระยะห่างจำนวน 10 ครั้ง นำระยะห่างที่วัดได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นดิสก์ในรูปที่ 4.15 พบว่าระยะห่างที่ตำแหน่งด้านนอก และด้านในแผ่นดิสก์มีการกระจายตัวของระยะห่างที่ได้มาก จากรูปที่ 4.16 เมื่อนำค่าเบี่ยงเบนไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นดิสก์ พบว่าค่าเบี่ยงเบนของด้านนอกและด้านในจะสูงกว่าที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ หลังจากนั้นคำนวณหาค่าความแม่นยำในการวัด จากตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า SD และ % RSD ของระยะห่างที่ตำแหน่งต่างกันบนแผ่นดิสก์ ที่ตำแหน่ง ด้านนอก และด้านในแผ่นดิสก์ได้ค่า %RSD ที่สูงกว่าที่ตำแหน่งตรงกลาง ดังนั้นที่ตำแหน่งด้านนอก และด้านในเมื่อถูกวัดด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับจะให้ความคาดเคลื่อนของข้อมูลทีมาก



รูปที่ 4.15 ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ (ก) 25 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 ค่าการเบี่ยงเบนข้อมูลการวัด (ก) 25 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส

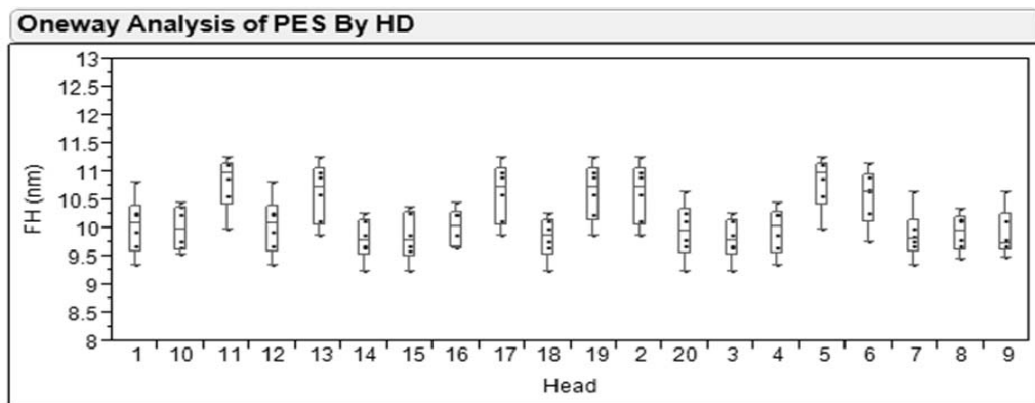
ตารางที่ 4.2 ค่า SD และ % RSD ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

Data Zone	อุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์			
	25 องศาเซลเซียส		50 องศาเซลเซียส	
	SD	%RSD	SD	%RSD
0	1.211	13.617	0.885	10.177
1	0.962	10.956	0.943	10.944
15	0.135	1.309	0.190	1.905
16	0.188	1.826	0.153	1.540
28	1.462	16.007	1.227	15.723
29	1.567	16.296	2.292	26.816

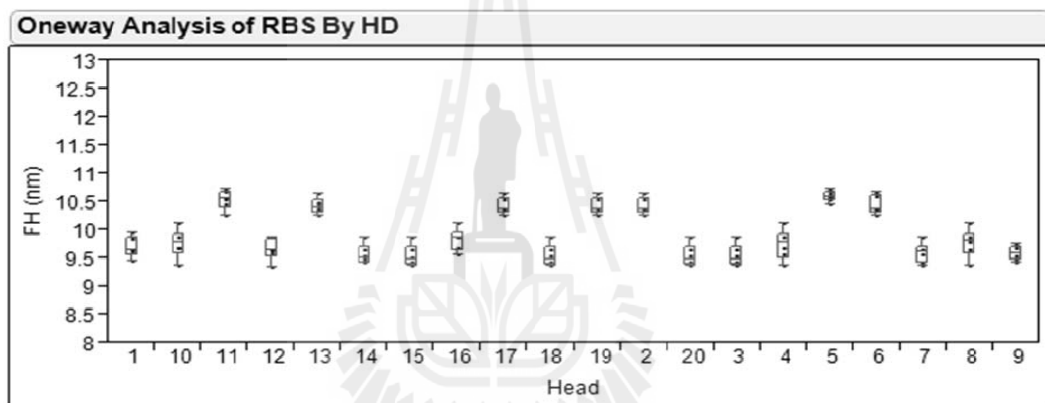
4.3 การเปรียบเทียบการหาระยะห่างระหว่างวิธีอ่านค่าความคาดเคลื่อนขอ

ตำแหน่งกับการอ่านสัญญาณอ่านกลับ

จากผลการทดลองพบว่าจากรูปที่ 4.17 จะแสดงระยะห่างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ตำแหน่งตรงกลางด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคาดเคลื่อนของตำแหน่งโดยแนวแกน x คือ ไดรฟ์ตัวที่ทำการวัด ระยะ ส่วนแกน y จะแสดงถึงระยะห่างเมื่อทำการวัดเป็นจำนวน 6 ครั้ง จากรูปที่ 4.18 จะแสดงระยะห่างของฮาร์ดดิสก์ที่ตำแหน่งตรงกลางเมื่อหาระยะด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ



รูปที่ 4.17 ระยะห่างวัดด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง



รูปที่ 4.18 ระยะห่างวัดด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ

จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าด้วยวิธีการอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ในรูปที่ 4.17 จะให้การกระจายตัวของระยะห่างที่มากกว่าวิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับ ซึ่งจากการทดลองที่ 4.1 และ 4.2 ทำให้เราทราบว่า การหาระยะห่างที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ วิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับจะให้ความแม่นยำที่มากกว่า ดังนั้นเราจึงนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบว่า ค่าระยะห่างที่ได้ของสองวิธีมีความแตกต่างกันนัยยะสำคัญทางสถิติหรือไม่จากการคำนวณค่า F_{cal}

ตารางที่ 4.3 ค่า $F_{cal} (S1^2/S2^2)$ ที่ได้จากการคำนวณ

Head	PES (S1)	RBS (S2)	$S1^2/S2^2$	Head	PES (S1)	RBS (S2)	$S1^2/S2^2$
1	0.52	0.18	8.16	11	0.52	0.15	12.59
2	0.39	0.26	2.33	12	0.54	0.15	13.26
3	0.48	0.17	7.99	13	0.50	0.19	7.08
4	0.52	0.19	7.33	14	0.37	0.19	3.85
5	0.54	0.14	15.04	15	0.42	0.27	2.49
6	0.37	0.17	4.50	16	0.48	0.10	24.48
7	0.42	0.18	5.32	17	0.49	0.16	9.00
8	0.33	0.19	2.98	18	0.44	0.18	6.03
9	0.54	0.15	13.17	19	0.33	0.25	1.72
10	0.37	0.19	3.89	20	0.42	0.13	11.29

จากตารางที่ 4.3 เมื่อนำค่า F_{cal} ไปเปรียบเทียบกับค่า $F = 5.05$ จากตารางภายใต้ความน่าจะเป็น 0.05 ความเชื่อมั่น 95% (Hines and Montgomery, 1990) ที่ $V1/V2 = 5/5$ พบว่ามีฮาร์ดดิสก์จำนวน 13 ตัวที่มีค่า F_{cal} ที่มากกว่า F_t ซึ่งบ่งบอกถึงการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ดังนั้นเราจึงทราบว่าเมื่อทำการวัดด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับจะให้ค่าการหาระยะห่างที่มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นคิดเป็น 65%

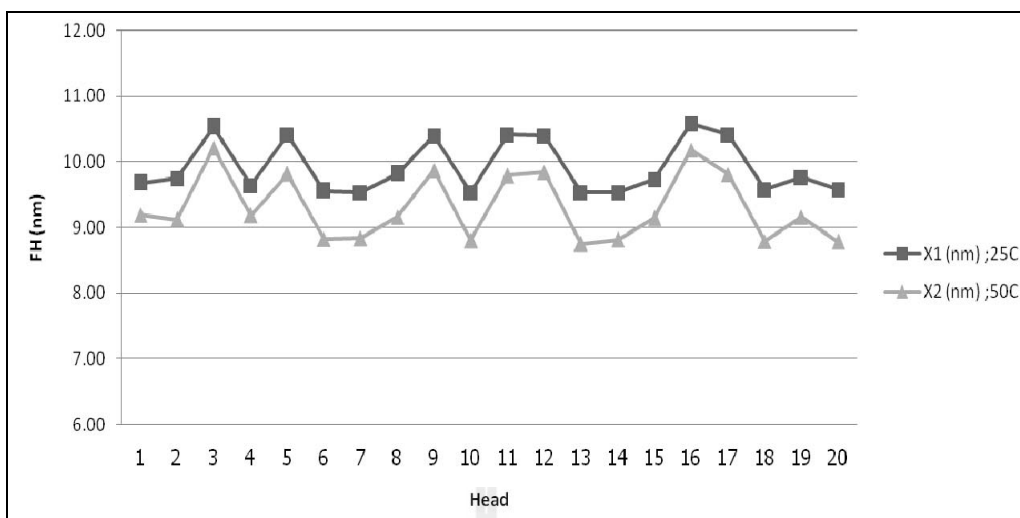
4.4 การหาความสัมพันธ์ของระยะห่างที่มีผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

จากผลการทดลองที่ 4.3 พบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ เมื่อใช้วิธีหาระยะห่างแบบอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับจะให้ความแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นเราจึงให้วิธีนี้หาระยะห่างที่อุณหภูมิที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส เมื่อได้ระยะห่างจากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าแล้วบันทึกค่าไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระยะห่างที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

Head	X1 (nm); 25C	X2 (nm); 50C	X1- X2	Head	X1 (nm); 25C	X2 (nm); 50C	X1- X2
1	9.68	9.19	0.49	11	10.41	9.79	0.62
2	9.75	9.12	0.63	12	10.40	9.84	0.56
3	10.53	10.21	0.32	13	9.53	8.75	0.78
4	9.64	9.18	0.46	14	9.53	8.81	0.72
5	10.41	9.82	0.59	15	9.73	9.14	0.59
6	9.55	8.82	0.73	16	10.58	10.18	0.40
7	9.53	8.83	0.70	17	10.41	9.81	0.60
8	9.82	9.16	0.66	18	9.58	8.79	0.79
9	10.40	9.87	0.53	19	9.76	9.16	0.60
10	9.53	8.80	0.73	20	9.58	8.78	0.80

จากตารางที่ 4.4 จะแสดงถึงค่าระยะห่างของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟจำนวน 20 ตัว ที่ถูกวัดด้วยวิธีการอ่านสัญญาณอ่านกลับ พบว่าที่อุณหภูมิ 50 ระยะห่างที่ได้น้อยกว่าที่ 25 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและอุณหภูมิที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส การกำหนดพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะน้อยกว่าด้วย



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและอุณหภูมิที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

4.3 วิจัยรณัผลการทดลอง

จากผลการศึกษาเรื่องการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคาดเคลื่อนของตำแหน่งค่าที่ได้มีความหลากหลายของข้อมูลในช่วงตรงกลางของแผ่นดิสก์ จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ของตำแหน่งตรงกลางจะสูงกว่าตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแผ่นดิสก์ เนื่องจากอาจจะเป็นผลของการวางตัวของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ที่เป็นลักษณะขนานกัน ซึ่งวิธีนี้จะใช้การขยับแท่งของข้อมูลมาหาระยะห่าง ทำให้ที่ตำแหน่งตรงกลางจะต้องยื่นหัวอ่านเข้าใกล้แผ่นดิสก์มากยิ่งขึ้นเพื่อให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์ ในส่วนของการหาระยะห่างด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับในตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแผ่นดิสก์จะให้ค่าความหลากหลายของข้อมูลที่มากกว่าที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ เนื่องจากวิธีนี้ใช้แอมป์จูดไปคำนวณหาระยะห่าง ซึ่งการวางตัวของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ทำมุมเป็นองศาใด ๆ จะมีแรงมากระทำเมื่อหัวอ่านถูกจ่ายกระแสไฟขึ้นเข้าใกล้แผ่นดิสก์ ดังนั้นเราจึงเห็นค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างในตำแหน่งด้านในและด้านนอกแผ่นดิสก์ที่มาก ในเรื่องการกำหนดระยะห่างที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่าเราจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระยะห่างที่กำหนดก็จะน้อยกว่าในอุณหภูมิที่ต่ำ เนื่องจากบริเวณรอบหัวอ่านมีความร้อนเพิ่มขึ้นการยึดตัวก็จะ มีประสิทธิภาพมากขึ้นเป็นผลให้เราใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและทดลองวิธีการหาระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการหาแบบอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับที่ตำแหน่งด้านใน ด้านนอกและตรงกลางของแผ่นดิสก์ ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียสจากการศึกษาพบว่าในหัวอ่านแต่ละตัวจะมีระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ความร้อนกับหัวอ่านจนถึงระยะสัมผัสในแต่ละตำแหน่งที่แตกต่างกัน

สรุปผลที่ได้จากการเปรียบเทียบวิธีการกำหนดระยะห่างที่ตำแหน่งด้านใน ด้านนอก และตรงกลางของแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- จากการทดลองเรื่องการกำหนดระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง พบว่าที่ตรงตำแหน่งกลางแผ่นดิสก์จะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างที่มากกว่าตำแหน่งด้านในและด้านนอกแผ่นดิสก์
- จากการทดลองเรื่องการกำหนดระยะห่างของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับ พบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าที่ตำแหน่งด้านในและด้านนอก ซึ่งทำให้การกำหนดระยะห่างมีประสิทธิภาพที่ภาพที่ดี
- จากการเปรียบเทียบวิธีการวัดทั้งสองวิธีด้วยวิธี F-test จะพบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์เมื่อใช้วิธีการอ่านค่าสัญญาณอ่านกลับจะให้ความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติคิดเป็น 65% จากวิธีการอ่านสัญญาณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ทำให้ทราบว่าถ้าเราใช้วิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับมาใช้กำหนดระยะห่างที่ตำแหน่งตรงกลางจะทำให้ได้ระยะห่างของการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- จากการศึกษาการกำหนดระยะห่างที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นดิสก์ด้วยวิธีอ่านสัญญาณอ่านกลับที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส การกำหนดระยะห่างจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าที่ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเราใช้งานฮาร์ดดิสก์ในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันการกำหนดระยะห่างการใช้งานจะต้องแตกต่างกันด้วย เพื่อให้เกิดความแม่นยำของการเขียนและการอ่านที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทั้งวิธีการกำหนดระยะห่างทั้งสองวิธีทำให้เราทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมในการหาระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นดิสก์ ทราบถึงระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิต่างกัน การศึกษานี้จะมีส่วนสำคัญอย่างมากในการพัฒนาต่อเนื่องไปในเรื่องการทำให้การกำหนดระยะห่างของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในทุกตำแหน่งของแผ่นดิสก์ ซึ่งการหาวิธีการที่เหมาะสมในการกำหนดระยะห่างจะได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้นทำให้ลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคตและสามารถนำไปวิเคราะห์หัวอ่านที่เกิดปัญหาอันเนื่องมาจากการกำหนดระยะห่างได้



รายการอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549). การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย MINITAB) สำนักพิมพ์ส.ศ.ท.

จักร จันทลักขณา (2545). การแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) และการประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยสภาพเครื่องจักร ตอนที่ 1 แกนอ้างอิงเทียบตามความถี่ด้วยการวิเคราะห์แบบฟูริเยร์ วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา ปีที่ 14 ฉบับที่ 14

ชัยยุทธ ชาบุญรงค์ (2554). ระเบียบวิธีควบคุมระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดอัตราข้อมูลผิดพลาดจากการอ่านเขียน วารสารวิจัย มข. ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 หน้า 240

ธีรยุทธ์ เกลี้ยงสง (2553). ระเบียบวิธีการประมาณค่าระยะห่างระหว่างการอ่านกับการเขียนของฮาร์ดดิสก์เนื่องจากผลกระทบจากลม วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พรชัย เปลี่ยมทรัพย์ (2554). การออกแบบไมล์กระแสเขียนสำหรับระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 หน้า 233

วีระพล แก้วกล้า (2553). การศึกษากระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ และหาวัสดุของแกนหัวอ่าน/เขียนที่เหมาะสม วารสารวิจัย มข. ปีที่ 15 ฉบับที่ 10 หน้า 910

Han, Y., and Callafon, R. A. D. (2009). **Evaluating Track-Following Servo Performance of High-Density Hard Disk Drives Using Patterned Media**, IEEE Transactions on magnetics, vol.45, no. 12 , pp. 5352-5359

Juang, J. Y., Nakaamura, T., Knigge, Luo, Y., Hsiao, W. C., Kuroki, K., Huang, F. Y., and Baumgart, P. (2008). **Numerical and Experiment Analyses of Nanometer-Scale Flying Height Control of Magnetic Head with Heating Element**, IEEE Transactions on magnetics, vol.44 , no. 11, pp.3679-3682

Minuhin, V.B. (1985). **Theory of Playback Process with Soft Magnetic Under layer**, IEEE Transactions on magnetics, vol. 21, no. 1, pp. 28-34

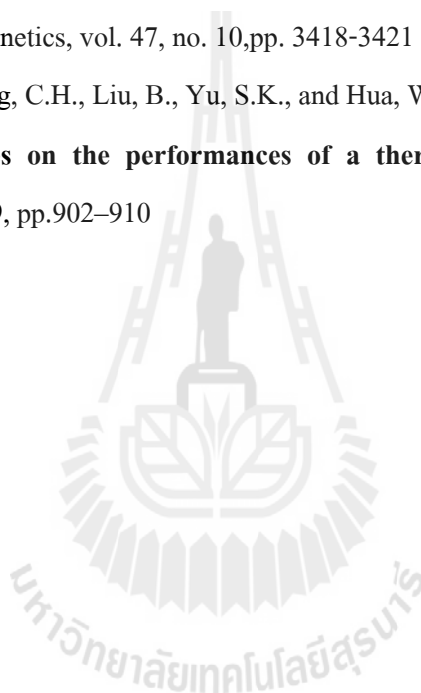
Schultz, B.E. (2007). **Thermal fly-height control (TFC) technology in Hitachi hard disk drives**, http://betasoft-outlet.com/ML/TFC_whitepaper041807.pdf

Tani, H., Goshi, K., Hamaguchi, T., and Suzuki, K. (2006). **Study of head takeoff phenomenon influenced by stick-slip vibration of slider on head-disk interface**, Journal of Applied Physics, vol. 99, 08N104 1-3,

Yuan , Z. M., Leong, S. H., Taslim, S. J., WeNg, K., and Liu, B. (2008). **Sub-mm disk waviness characteristics and slider flying dynamics under thermal FH control**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 320 ,pp. 3189–3191

Yuan, Z. M., Liu, B., Ong, C. L., and Budi Santoso, (2011). **A New Code Pattern of Triple Harmonic Method for Precise In-Situ FH Measurement in Perpendicular Recording**, IEEE Transactions on magnetics, vol. 47, no. 10,pp. 3418-3421

Zhou, W.D., Wong, C.H., Liu, B., Yu, S.K., and Hua, W. (2009). **Effects of temperature dependent air properties on the performances of a thermal actuated slider**, Tribology International Vol.42 , 2009, pp.902–910



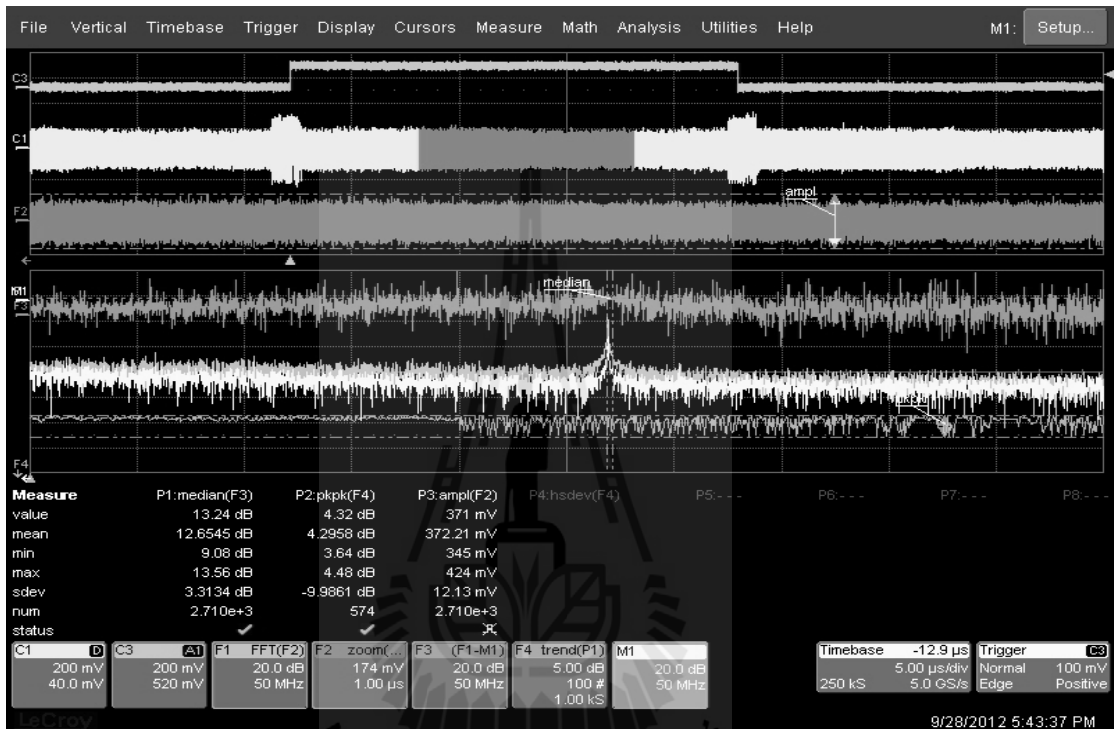


ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ก.1 การปรับเครื่อง Oscilloscope

การปรับเครื่อง Oscilloscope เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล Amplitude Voltage (mV) เพื่อนำค่าไปคำนวณหาระยะการบินที่ต่ำลงด้วยวิธี Read/back Signal ซึ่งจากฟังก์ชันของตัวScope จะทำการสร้างช่องของ FFT และ Delta FFT ขึ้นมาเพื่อที่จะดูลักษณะของ Peak to Peak ของ Delta FFT ได้



รูปที่ ก.1 แสดงประมวลผลบน Oscilloscope

ก.2 วิธีการคำนวณหา %RSD

Relative Standard Deviation

$$RSD = \frac{SD}{X} \quad \% RSD = \frac{SD}{X} \times 100$$

%RSD มีค่าน้อยเท่าไร แสดงว่าวิธีนั้นมีความแม่นยำมาก

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

จากการทำการทดลองด้วยวิธีหาระยะห่างด้วย dPES จะได้ข้อมูลดังนี้

Name	Occurrence	DATA_ZONE	RD_CNTCT_DAC	RD_CNTCT_PW	RD_CLR
HD0_25C.txt	0	0	156	111	11.47
HD0_25C.txt	1	0	156	111	11.47
HD0_25C.txt	2	0	156	111	11.47
HD0_25C.txt	3	0	154	109	11.38
HD0_25C.txt	4	0	154	109	11.38
HD0_25C.txt	5	0	156	111	11.47
HD0_25C.txt	6	0	154	109	11.38
HD0_25C.txt	7	0	154	109	11.38
HD0_25C.txt	8	0	154	109	11.38
HD0_25C.txt	9	0	154	109	11.38

หลังจากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลการวัด

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$(11.47+11.47+11.47+11.38+11.38+11.47+11.38+11.38+11.38+11.38)/10 = 11.416$$

หลังจากนั้นทำการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = 0.01944$$

$$SD = \sqrt{\frac{0.01944}{9}} = 0.04648$$

จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปคิด % RSD

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100 = \frac{0.04648}{11.416} \times 100 = 0.40711$$



ตารางที่ ก.1 ค่าของ F ภายใต้ค่าความน่าจะเป็นที่ 0.05 มีมากกว่าค่าที่กำหนด

V ₂ \ V ₁	DF ของตัวตั้ง ; V ₂																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	181.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

* คัดจาก Hines and Montgomery (1990)

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a circular emblem. At the top, there is a stylized tower or spire. Below it, a central figure stands on a pedestal. The base of the emblem is a semi-circle containing the university's name in Thai script. The text "ภาคผนวก ข" is centered over the middle of the logo.

ภาคผนวก ข

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Boonsawat, A., and Srisertpol, J. (2013). **Study in Head/Disk contact process with Readback Signal under thermal control on variable temperature.** The 5th International data storage technology conference DST 2013, The Sukosol, Bangkok, Thailand.



Study in Head/Disk contact process with Readback Signal under thermal control on variable temperature

Anat Boonsawat¹, Jiraphon Srisertpol²

Suranaree University of Technology
Nakornrachasrma, Thailand

¹anat.boonsawat@seagate.com

²jiraphon@sut.ac.th

Abstract— the thermal flying-height control (TFC) is important in hard disk drive (HDD). The finding Head/Disk contact was used to set up working flying height (FH) by increasing heater power (mW) to target write and read clearance. Amplitude ratio (AR) and harmonic ratio equation (HR) were used to monitor the dynamic flying height. In perpendicular recording of Head/Disk contact process, pattern 2T (1st) and 6T (3rd) were written on the testing track after that read back to the signal. The amplitude ratio was calculated by Wallace spacing loss equation to find touch down clearance. The temperature in drive has effected to FH on head. The head run in hot temperature has flying height lower than in cold temperature in the same heater power.

Keywords— flying height (FH), Wallace spacing loss, amplitude ratio, Head Disk contact process.

I. INTRODUCTION

The areal density of magnetic recording system has steadily since its birth in 1956. The proportional scaling of recording bits was used to improve areal density. The head media spacing (HMS) is important to determine the linear density of magnetic recording system. In order to assure long term reliability of head disk interface, the fly height (FH) adjustment was invented by the thermal flying-height control (TFC) technology. During read/write process, read/write heads protrude to media and perform data read or write at lower FH actuating by the head heater. In consequence, the read/write heads return to the higher FH and may suffer from the low FH which caused to HDI problems [1]. Although the TFC technology significantly reduces the duration of low FH operation, the control of head-disk spacing fluctuation at thermally actuated lower FH is still the key concerning parameter of this technology. Another difficulty due to the FH was decreased in static FH variation such as radial position, surrounding temperature, altitude, and fabrication and assembly tolerances.

A previous study[2] treated vibration of a slider in near contact by considering a friction force and focused on the simplified one degree of freedom model of slider horizontal vibration. The slider in near contact shown vibration in the vertical and horizontal directions. The horizontal vibration was described by friction force. The slider vibration motion with intermittent contact. The vibration of the slider on touchdown height was simulated in Fig.1.

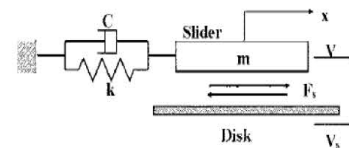


Fig. 1 Simulation one freedom model of touchdown behaviour.

The damping constant and spring constant were acquired from the measurement of the resonance frequency on the horizontal motion of a slider. The damping ratio of vibration used LESER Doppler Vibrometer (LDV). In Fig.2 show slider contact with vary friction force. All of figure show slider vibration after touchdown process.

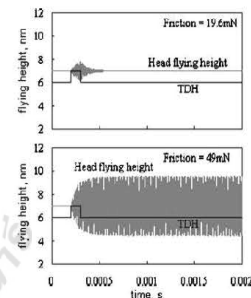


Fig. 2 Slider vibration behaviours after slider short contact.

Normally finding Head/Disk contact process in drive level used position error signal (PES), which definite as demodulation read back signal generated from servo patterns on disk [3]. The deviation in PES is depending on friction force between head and media. At zero skew angles, the contact force is directed parallel to slider/suspension no sideways resulting in forces so Head stays on-track. In this work, the readback signal-based on 1st and 3rd harmonic amplitude method combined into harmonic ratio equation. It was measured and observed to monitor the flying stability of slider during heat activated head protrusion in variable temperature environment.

II. EXPERIMENT SETUP

In this experiment fly height between head/disk contact process is observed using amplitude ratio and harmonic ratio methods. The code pattern 2T (1st) and 6T (3rd) were written

on the testing track and then is the signal read back. Then the Wallace spacing loss equation is used to find touch down clearance [4-6]. In the AR method, amplitude only at fundamental frequency is measured at two different spacing and the spacing change Δd_{AR} is estimated as follows.

$$\frac{V}{V_0} = e^{-2\pi d/\lambda} ; \quad \frac{V_1}{V_0} = e^{-2\pi d_1/\lambda} ; \quad \frac{V_2}{V_0} = e^{-2\pi d_2/\lambda}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2\pi \times r \times RPM \times 1/60}{f}$$

$$\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \frac{2\pi(\Delta d)}{\lambda}$$

$$\Delta d_{AR} = \frac{r \times RPM}{60 \times f} \ln\left\{\frac{V_2}{V_1}\right\}$$

In the HR method, amplitudes at the fundamental frequency f and it's harmonic frequency ($=3 \times f$) are measured at two different spacing and the spacing change Δd_{HR} is estimated as follows.

$$\frac{V}{V_0} = e^{-2\pi d/\lambda} ; \quad \frac{V_1}{V_0} = e^{-2\pi d_1/\lambda} ; \quad \frac{V_3}{V_0} = e^{-2\pi d_2/\lambda/3}$$

$$\lambda_1 = \frac{v}{f} = \frac{2\pi \times r \times RPM \times 1/60}{f}$$

$$\ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right) = \frac{4\pi(\Delta d)}{\lambda_1}$$

$$\Delta d_{HR} = \frac{r \times RPM}{120 \times f} \ln\left\{\frac{V_{1,1}/V_{3,1}}{V_{1,2}/V_{3,2}}\right\}$$

In the HR method, amplitudes at the fundamental frequency f and it's harmonic frequency ($=3 \times f$) are measured at two different spacing, where as in the AR method only the fundamental amplitudes are measured. However, the above AR and HR delta spacing equations can be combined as follows.

$$\Delta d_{HR} = \frac{r \times RPM}{120 \times f} \ln\left\{\frac{V_{f,1}/V_{3f,1}}{V_{f,2}/V_{3f,2}}\right\}$$

$$\Delta d_{AR,f} = \frac{r \times RPM}{60 \times f} \ln\left\{\frac{V_{f,2}}{V_{f,1}}\right\}$$

$$\Delta d_{AR,3f} = \frac{r \times RPM}{60 \times f} \ln\left\{\frac{V_{3f,2}}{V_{3f,1}}\right\}$$

$$\Delta d_{HR,f} = \frac{1}{2} \left[3 \times \Delta d_{AR,3f} - \Delta d_{AR,f} \right]$$

The delta FH can be calculated by the delta voltage from the amplitude ration signal. The signal was observed by Lecroy wavepro 7300A 3GHz oscilloscope.

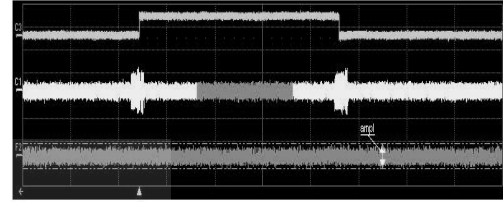


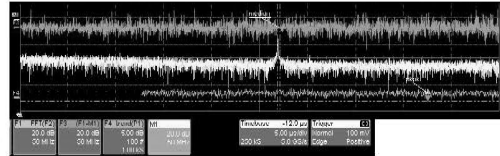
Fig 3 The FH signal on voltage amplitude.

In this test used the radius of media is 45mm at 7200 rpm and velocity of disk is 33.9 m/s. FH measurement on skew angle is zero due reduce head affect and make sure track testing during on FH monitoring method. The temperature on drive has varied to 25° and 50° C degree. During heater was excited by TFH control, head would protrude out by thermal increasing.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In Fig.4, the data show FFT from FH signal. Fig. 4(A) is show FFT signal on normal fly height. The median trace shows difference FFT between before and after head was protruded by heater power. The top trace is delta on FFT and observed trend to bottom trace which minimum value of the delta (high peak FFT). The peak-to-peak of trend of delta in normal fly height is range 0.4 dB to 1.2 dB at minimum delta FFT. Fig. 4(B) is show FFT signal on Head/Disk contact process. The observation found FFT signal before/after is significant difference on the trend of delta FFT value. The peak-to-peak of trend show signal over 3dB on minimum delta FFT.

(A)



(B)

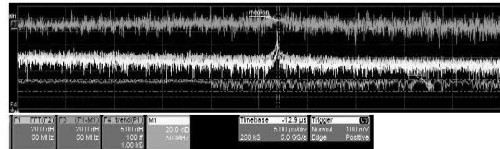


Fig. 4 The FFT from FH signal (median trace of each graph), the delta of FFT (top trace of each graph) and peak-to-peak of trend delta FFT (bottom trace of each graph) at (A) normal fly height and (B) head/disk contact.

In Fig. 5 show the clearance drop with FH control compare on 6T and 2T write pattern and clearance drop with harmonic equation by AR method. The clearance drop is calculated by delta amplitude voltage in Fig.3. In Fig. 5(A) is show Head/Disk contact process at temperature base 25°C and Fig. 5(B) is 50°C. The 2T pattern show clearance drop less than 6T at the same heater power. When the power increases to a certain value, 96 mW for temperature base 25°C and 92 mW for temperature base 50°C. The slope of fly height increases and peak-to-peak of minimum trend on delta FFT from Fig. 6 is over 3dB.

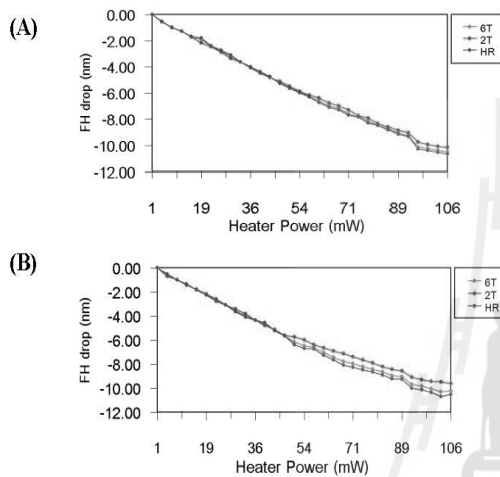


Fig 5 the clearance drop with FH control compare clearance on 6T,2T and harmonic ratio equation at (A) temperature base 25°C and (B) 50°C

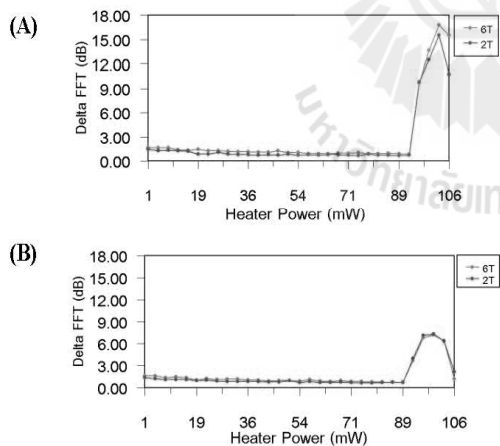


Fig 6 the peak-to-peak value of delta FFT signal at (A) temperature base 25°C and (B) 50°C

In Fig. 6 is show high peak-to-peak similar heater power on plot with clearance drop. At the point of slope change, the PES signal show Head/Disk contact has occurred (PES signal nearly the zero skew angle). The FH drop compare Head/Disk contact with vary temperature base in Fig. 7, the temp base

25°C show contact point is 9.6 nm and 9.3 nm at 50°C. The clearance difference in cold and hot temp is 0.3 nm.

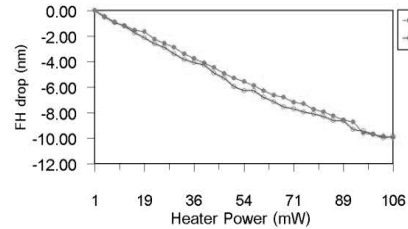


Fig 7 the clearance drop with FH control compare clearance on harmonic ratio equation at temperature base 25°C and 50°C

From FH measurement both of heads 1 and 2 have same flying height with the heater protruding. The harmonic equation show Head/Disk contact process of head 1 lower than head 2 both of temperature base 25°C and 50°C in Fig.8.

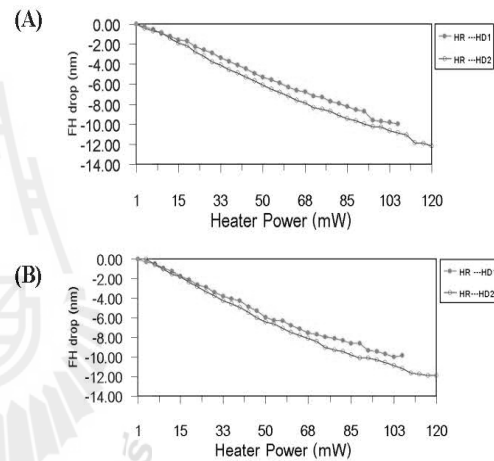
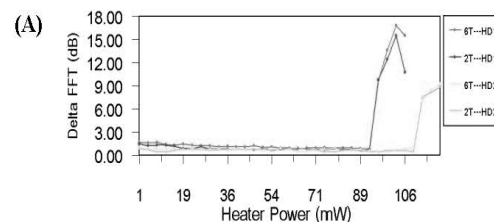


Fig. 8 The clearance drop of 2 heads with harmonic equation (A) temperature base 25°C and (B) 50°C

All of temperature base in Fig. 9 show the peak-to-peak trend are high value at contact point similar slope change in Fig. 8. The head 1 show high peak-to-peak signal at contact point. After we had continued protrude heater, the peak-to-peak trend shown value drop at 25°C and 50°C. The head 2 show peak-to-peak drop at 50°C. The head 1 has much larger FH modulation than head 2 because of the head 1 start to contact the disk at lower heater power.



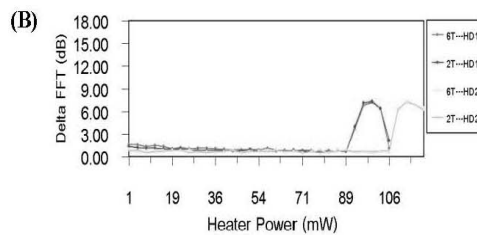


Fig. 9 The peak-to-peak trend value of 2 heads by 6T and 2T at (A) temperature base 25°C and (B) 50°C

For head slider design, the highest protrusion point under heater excitation is close to the writer. When the head protrude to contact the disk, the writer had contact disk first. Due to the pitch angle of slider and position, there is still room for the reader to further approach the disk under the increased heater power.

IV. CONCLUSIONS

This work is show calculation fly height drop in harmonic ratio equation by AR method for Head Disk contact process. The Head Disk contact point can observe by peak-to-peak of minimum delta FFT trend. It can protect touch down process when the values above to baseline. The difference temperature can change Head Disk contact, the hot temperature base show heater power lower than cold temperature base. This is way of using harmonic ration equation method is effective to compare

the flying height control at medium zone of the disk at vary temperature in addition to PES method.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Seagate Technology, Suranaree University of Technology and National Electronics and Computer Technology Center (NETEC).

REFERENCES

- [1] Z. M. Yuan , S. H. Leong, S. J. Taslim, K. WeNg and B. Liu, "Sub-mm disk waviness characteristics and slider flying dynamics under thermal FH control", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 320 .pp. 3189–3191, 2008
- [2] H. Tani, K. Goshi, T. Hamaguchi and K. Suzuki, " Study of head takeoff phenomenon influenced by stick-slip vibration of slider on head-disk interface", *Journal of Applied Physics* , vol. 99, 08N104 1-3, 2006
- [3] Y. Han and R. A. D. Callafon, "Evaluating Track-Following Servo Performance of High-Density Hard Disk Drives Using Patterned Media", *IEEE Transactions on magnetics*, vol.45, no. 12 , pp. 5352-5359, 2009
- [4] Z. M. Yuan, B. Liu, C. L. Ong, and Budi Santoso, "A New Code Pattern of Triple Harmonic Method for Precise In-Situ FH Measurement in Perpendicular Recording", *IEEE Transactions on magnetics*, vol. 47, no. 10, pp. 3418-3421, 2011
- [5] V.B. Minuhin, "Theory of Playback Process with Soft Magnetic Underlayer", *IEEE Transactions on magnetics*, vol. 21, no. 1, pp. 28-34, 1985
- [6] J. Y. Juang, T. Nakaamura, B. Knigge, Y. Luo, W. C. Hsiao ,K. Kuroki , F. Y. Huang and P. Baumgart. "Numerical and Experiment Analyses of Nanometer-Scale Flying Height Control of Magnetic Head with Heating Element", *IEEE Transactions on magnetics*, vol.44 , no. 11, pp.3679-3682, 2008



ประวัติผู้เขียน

นายอานัติ บุญสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2526 ที่อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง มัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่โรงเรียนมัธยมวัดใหม่กรงทอง สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นได้เข้าทำงานเป็นพนักงานบริษัท ซีเกทเทคโนโลยีประเทศไทย (โคราซ) จำกัด มีประวัติการทำงานด้านซ่อมบำรุงเครื่องจักร และ Process Engineering ก่อนจะทำงานด้านวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในปี พ.ศ. 2552 และในปี พ.ศ.2553 ได้รับทุนจากบริษัท NECTEC และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเข้า ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ในขณะที่กำลัง ศึกษาต่อได้มีโอกาสเดินทางไปเรียนรู้เทคโนโลยีการบินของหัวอ่านที่ บริษัท ซีเกทเทคโนโลยี สหรัฐอเมริกา (โคโรลาโด) หลังจากนั้นได้มีการนำเสนอผลงานวิชาการเรื่อง Study in Head/Disk contact process with Readback Signal under thermal control on variable temperature ในการ ประชุมวิชาการ The 5th International data storage technology conference DST 2013, โรงแรม สุ โกศลกรุงเทพมหานคร