



ระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-
เขียนข้อมูล

**An Optimal Fly-Height Control Algorithm for Soft Error Rate Reduction During
Read-Write Process**

ธัญญพร ชาณูรงค์

Tanyaporn Channarong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Electrical Engineering

Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาด
จากการอ่าน-เขียนข้อมูล
ผู้เขียน นายธัญญพร ชาบุญรงค์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พฤทธิกร สมิตไมตรี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เลิศศักดิ์ เลขวัต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล
ผู้เขียน	นายรัชญพร ชาญณรงค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล โดยศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยดูความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เข้าใกล้ดิสก์ ซึ่งมีตัวแปรที่ทดสอบคือ position error signal (PES) เป็นตัวระบุตำแหน่งหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ และ digital to analog converter (DAC) ที่ป้อนให้แก่ voice coil motor เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียน ผลการศึกษาพบว่าค่า DAC เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์ จึงใช้ค่า DAC ในการตรวจจับการเข้าใกล้ดิสก์ และระบุระยะการบินของหัวอ่าน-เขียน ผลการนำไปใช้ในสามารถปรับปรุงลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.99% เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะการบินที่ถูกกำหนดจากโรงงาน

คำสำคัญ ระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ ข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล

Thesis Title An Optimal Fly-Height Control Algorithm for Soft Error Rate
Reduction During Read-Write Process

Author Mr.Tanyaporn Channarong

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2009

ABSTRACT

This thesis presents an optimal fly-height (FH) control algorithm for soft error rate (SER) reduction during read-write processes. The studied parameters in this algorithm are the position error signal (PES) and the voice coil motor digital to analog converter (DAC) values. The study results show that the DAC values change noticeably when the head moves close to the disk. Therefore, the DAC values are used to indicate when the head moves close to the disk and specify FH to reduce SER. The result of the proposed algorithm can improve FH to reduce SER better than the FH set from factory. The SER can be improved 6.99% at average.

Keywords: fly-height (FH), soft error rate (SER)

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงคำขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร ประธานกรรมการที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนการทำวิจัย กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดี รวมทั้งแนวความคิดและกำลังใจ ในการแก้ปัญหาตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู กรรมการที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือแก้ไขปัญหาในงานวิจัยตลอดจนช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พฤทธิกร สมิตไมตรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือแก้ไขปัญหาในงานวิจัย ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เลิศศักดิ์ เลขวัต อาจารย์กรรมการสอบผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัทอิตาซี โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่กรุณาให้ข้อมูลสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อน ๆ รวมทั้งน้องๆ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและครอบครัว ที่ส่งเสริมสนับสนุน ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ธัญญพร ชาญณรงค์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	6
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	7
2.1 ความเป็นมาของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	7
2.2 เทคโนโลยีหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	8
2.2.1 หัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	8
2.2.2 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูล.....	9
2.2.3 เทคโนโลยีของ MR และ GMR	9
2.2.4 โครงสร้างเบื้องต้นของ MR head	10
2.2.5 โครงสร้างเบื้องต้นของ GMR head	11
2.2.6 การเขียนข้อมูลแบบ longitudinal และ perpendicular	13
2.2.7 การเปลี่ยนแปลงสู่เทคโนโลยีของ perpendicular	13
2.2.8 เทคโนโลยีของ perpendicular recording	14
2.2.9 เทคโนโลยีของ tunnel magneto resistance (TMR).....	15
2.3 เทคโนโลยีการกำหนดระยะ FH.....	16
2.3.1 เทคโนโลยี thermal fly-height control (TFC).....	16
2.3.2 Touch down power (TDP).....	17
2.4 การระบุประสิทธิภาพ/ตำแหน่งของหัวฮาร์ดดิสก์.....	18
2.4.1 Soft error rate (SER).....	18
2.4.2 Position error signal (PES).....	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การควบคุมตำแหน่งหัวอ่าน-เขียนให้อยู่กึ่งกลางแทร็ค.....	21
3. การจำลองการทำงานและทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่าน-เขียน.....	22
3.1 การจำลองการทำงานการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียน.....	22
3.1.1 วิธีการทดสอบ.....	22
3.1.2 ผลการจำลองการทำงาน.....	23
3.2. การทดสอบความสัมพันธ์ PES และ DAC.....	24
3.3 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในการทดสอบ.....	24
3.4 การทดสอบระยะ FH ของหัวฮาร์ดดิสก์.....	25
3.4.1 วิธีการทดสอบ	25
3.4.2 ผลการทดสอบ FH.....	26
3.5 การทดสอบ PES และ DAC.....	30
3.5.1 วิธีการทดสอบ.....	30
3.5.2 ผลการทดสอบ PES.....	31
3.5.3 ผลการทดสอบ DAC.....	34
3.6 การทดสอบ SER.....	37
3.6.1 วิธีการทดสอบ.....	37
3.6.2 ผลการทดสอบ SER.....	38
4. การออกแบบระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล.....	42
4.1 ความเกี่ยวเนื่องของตัวแปรภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	42
4.2 ข้อพิจารณาการเลือกใช้พารามิเตอร์.....	43
4.3 ข้อพิจารณาการตรวจจับความผิดปกติของค่า DAC.....	43
4.4 การคำนวณเส้นค่าเฉลี่ย.....	44
4.5 การคำนวณเส้นตรวจจับความผิดปกติ.....	44
4.6 เทคนิคการแยกค่า DAC เพื่อใช้คำนวณ.....	45
4.7 สรุปการออกแบบระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล.....	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.8 การทดสอบอัลกอริทึมกับฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟจริง.....	48
4.9 การวิจารณ์ผลการทดสอบ.....	49
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผล.....	50
5.2 ปัญหา.....	51
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	64

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4-1	สรุปค่า SER และ FH ของ H0 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากโรงงาน.....	48
4-2	สรุปค่า SER และ FH ของ H0 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากอัลกอริทึม.....	48
4-3	สรุปค่า SER และ FH ของ H3 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากโรงงาน.....	48
4-4	สรุปค่า SER และ FH ของ H3 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากอัลกอริทึม.....	49
4-5	สรุปค่า SER และ FH ของ H0 ที่ได้จากการทดสอบของโรงงานกับอัลกอริทึม	49
4-6	สรุปค่า SER และ FH ของ H3 ที่ได้จากการทดสอบของโรงงานกับอัลกอริทึม	49

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์.....	2
1-2 โครงสร้าง Slider ABS 5 (a) Panda 3, (b) Design A.....	3
1-3 ตำแหน่งการบินของโครงสร้าง Slider ABS (a) Panda 3, (b) Design A	3
1-4 หมายเลข 104 ตำแหน่งหัวฮาร์ดดิสก์และหมายเลข 100 ดิสก์.....	5
1-5 ภาพตัดขวางเฉพาะบริเวณหัวอ่าน-เขียนเมื่อไม่ให้ความร้อน.....	5
1-6 ภาพตัดขวางเฉพาะบริเวณหัวอ่าน-เขียนเมื่อให้ความร้อน.....	5
1-7 ลักษณะสัญญาณ PES ของไดรฟ์ปกติ.....	6
1-8 ลักษณะสัญญาณ PES ของไดรฟ์ไม่ปกติ.....	6
2-1 อัตราการเติบโตของเทคโนโลยีของ magnetic head ของ HDD.....	8
2-2 โครงสร้างของ MR และ GMR.....	8
2-3 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูล.....	9
2-4 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ sensing layer MR และ GMR.....	10
2-5 โครงสร้างเบื้องต้นของ MR head.....	10
2-6 โครงสร้างเบื้องต้นของ GMR head.....	11
2-7 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนของ GMR sensor.....	12
2-8 ผลตอบสนองของสนามแม่เหล็กต่อความต้านทานของ GMR.....	12
2-9 การเขียนข้อมูลแบบ longitudinal.....	13
2-10 การเขียนข้อมูลแบบ perpendicular.....	13
2-11 โครงสร้างหัวอ่าน-เขียนของเทคโนโลยี perpendicular.....	14
2-12 โครงสร้างของ soft magnetic under layer.....	14
2-13 โครงสร้าง tunnel magneto resistance layer.....	15
2-14 แนวโน้มเทคโนโลยีหัวอ่าน-เขียน.....	16
2-15 หัวอ่าน-เขียนก่อนให้ความร้อน.....	17
2-16 หัวอ่าน-เขียนหลังให้ความร้อน.....	17
2-17 โครงสร้างของ track.....	19
2-18 รูปแบบของ burst pattern	19
2-19 สัญญาณที่ตำแหน่ง 0.....	19

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2-20 สัญญาณที่ตำแหน่ง 1.....	20
2-21 สัญญาณ PES in-phase และ quadrature.....	20
2-22 การทำงานงานของ head position loop control	21
3-1 โครงสร้าง slider.....	23
3-2 การยื่นตัวของหัวอ่านเขียน.....	23
3-3 ภาพรวมของระบบที่ใช้ทดสอบ.....	24
3-4 เริ่มให้ความร้อนที่หัวอ่าน-เขียน.....	25
3-5 หัวอ่าน-เขียนขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น.....	25
3-6 กำลังงานที่ทำให้หัวอ่าน-เขียนสัมผัส碟.....	26
3-7 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H0 สัมผัส碟.....	26
3-8 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H1 สัมผัส碟.....	27
3-9 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H2 สัมผัส碟.....	27
3-10 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H3 สัมผัส碟.....	27
3-11 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H0 สัมผัส碟.....	28
3-12 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H1 สัมผัส碟.....	28
3-13 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H2 สัมผัส碟.....	28
3-14 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H3 สัมผัส碟.....	29
3-15 ระบบที่ทดสอบ PES และ DAC.....	30
3-16 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	31
3-17 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	31
3-18 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	32
3-19 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	32
3-20 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	32
3-21 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	33
3-22 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	33
3-23 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน..	33
3-24 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	34

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
3-25 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	34
3-26 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	35
3-27 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	35
3-28 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	35
3-29 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	36
3-30 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	36
3-31 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน	36
3-32 การลดระยะ FH ด้วยการลดกำลังงานที่ให้แก่หัวอ่าน-เขียน.....	38
3-33 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H0.....	38
3-34 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H1.....	39
3-35 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H2.....	39
3-36 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H3.....	39
3-37 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ Zone0.....	40
3-38 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ Zone12.....	40
3-39 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ Zone23.....	40
4-1 ตัวอย่างค่า DAC ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่2หัวที่3	42
4-2 ตัวอย่างค่าสัมบูรณ์ของ DAC ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่2หัวที่3.....	43
4-3 เส้นตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ H3.....	44
4-4 เส้นตัวอย่าง DAC peak, Avg line, Detection line และเส้นค่าเฉลี่ยของ H3.....	45
4-5 ข้อมูลที่นำเข้ามาใน window size กำหนดความกว้างไว้ที่ 5.....	46
4-6 ข้อมูลที่นำเข้ามาใน window size เรียงข้อมูลจากมากไปน้อย.....	46
4-7 ข้อมูลใน windows ที่ถูกแบ่งแยกกลุ่มเพื่อนำไปคำนวณ.....	46
4-8 Flow chart ของอัลกอริทึมการกำหนดระยะ FH.....	47

บทที่ 1

บทนำ

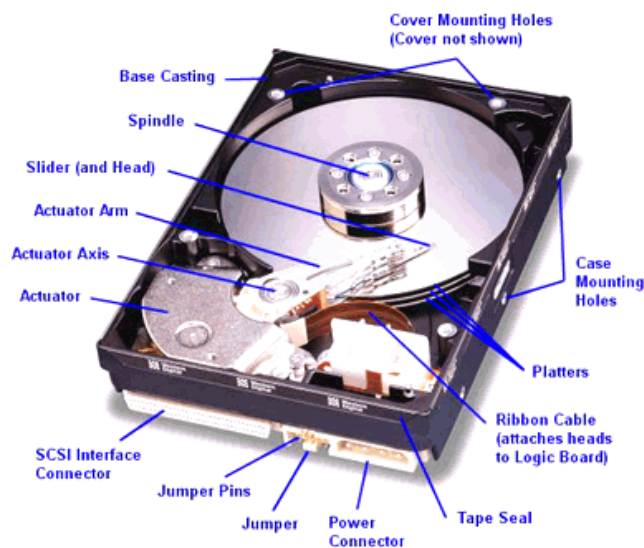
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์มีบทบาทในชีวิตประจำวันของบุคคลทั่วไปมากขึ้นเรื่อยๆ โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นตัวเก็บบันทึกข้อมูล ภายในฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วยแผ่นวงกลมสำหรับใช้บันทึกข้อมูลขนาดตั้งแต่ 1.8 – 3.5 นิ้วเรียงซ้อนกัน (แผ่นวงกลมนี้เรียกว่าดิสก์ disk) จะถูกบรรจุภายในกล่องปิดให้อากาศไหลเข้าได้บางส่วนและป้องกันฝุ่นที่จะเข้าไปถึง ซึ่งดิสก์จะเรียงตัวอยู่บนแกนเดียวกันเรียกว่า spindle ดังภาพประกอบ 1-1 ทำให้แผ่นดิสก์หมุนไปเนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยความเร็วของมอเตอร์โดยมีหัวอ่าน-เขียนอยู่ที่แผ่นดิสก์ โดยปกติหัวฮาร์ดดิสก์จะมี 2 หัวต่อแผ่นดิสก์ 1 งาน สำหรับแผ่นดิสก์แต่ละแผ่น พื้นผิวของจานดิสก์ (เรียกว่า platter) จะถูกแบ่งเป็นวง ๆ ซึ่งเรียกว่าแทร็ค (track) หรือ cylinder

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ถูกพัฒนาให้มีความจุเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่ขนาดของฮาร์ดดิสก์ยังคงเดิมเท่าการ สร้างฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุสูงนั้นมีความท้าทายเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้องหาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อใช้สร้างฮาร์ดดิสก์ความจุสูงขึ้นมา สำหรับวิธีการหนึ่งของการสร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงคือการสร้างหัวอ่าน-เขียนที่มีระยะห่างของช่องว่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์กับแผ่นดิสก์ (ซึ่งเรียกว่า fly-height:FH ให้น้อยลง ในระดับนาโนเมตร :nm) เพื่อที่จะสามารถสร้างแม่เหล็กต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยได้มากขึ้นและเพิ่ม signal to noise ratio โดยจะต้องควบคุมระยะห่างของช่องว่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์กับแผ่นดิสก์ให้เหมาะสมเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด soft error rate (SER) (SER คืออัตราข้อมูลที่ผิดพลาดต่อข้อมูลที่สมบูรณ์ โดยข้อมูลที่ผิดพลาดสามารถแก้ไขให้ถูกต้องได้ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ผิดพลาดทางกายภาพที่ไม่สามารถแก้ไขได้) ในระหว่างการอ่าน-เขียนข้อมูลและเพื่อป้องกันการเกิดการชนกันระหว่างแผ่นดิสก์กับหัวอ่าน-เขียน ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อฮาร์ดดิสก์ได้

เทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้สำหรับการสร้างหัวอ่าน-เขียนให้อยู่ใกล้กับแผ่นดิสก์คือการให้ความร้อนที่หัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ เมื่อหัวอ่าน-เขียนถูกให้ความร้อนจากชุดควบคุมโดยการป้อนกระแสไปที่ขดลวดที่อยู่บริเวณหัวอ่าน-เขียน หัวอ่าน-เขียนที่ได้รับความร้อนจะขยายตัวเข้าใกล้แผ่นดิสก์ทำให้ระยะ FH ลดลง โดยเรียกส่วนควบคุมระยะห่างและความร้อนนี้อยู่เรียกว่า Thermal Fly-height Control (TFC)[1] โดยการคำนวณระยะระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์จะใช้งาน

ให้ความร้อนไปที่หัวอ่าน-เขียนจนขยายตัวใกล้สัมผัสกับแผ่นดิสก์แล้วจึงนำค่าพลังงานที่ได้จากการให้ความร้อนนี้มาคำนวณเป็นระยะของ FH และเนื่องจากระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับฮาร์ดดิสก์แต่ละรุ่นที่ผลิตออกมานั้น FH ถูกกำหนดไว้ที่ค่าสูงและเป็นค่าคงที่จากโรงงานเพื่อป้องกันการชนกันของหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์จึงทำให้การอ่านเขียนข้อมูลมีค่า error สูงด้วยเช่นกัน ทว่า FH นั้นยังสามารถปรับลดลงมาให้เหมาะสมเพื่อที่จะได้ค่า error ที่มีค่าน้อยลงได้โดยค่า error ที่ต่ำนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ดีขึ้นไปด้วย ถ้าหากว่า FH ต่ำลงมากเกินไป จะทำให้เกิดการชนกันของหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ทำให้ดิสก์เกิดความเสียหายขึ้นดังนั้นการศึกษาค้นคว้าและออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถควบคุม FH ให้อยู่ในระยะที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการชนกันของหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์และเพื่อให้ได้ SER ที่ดีนั้นจึงมีความจำเป็นสำหรับฮาร์ดดิสก์



ภาพประกอบ 1-1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ [17]

1.2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 In-Situ Flying Height Testing Technology [2]

สำหรับเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันระยะห่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์อยู่ในระดับนาโนเมตรซึ่งระยะห่างนี้มีความสำคัญต่อเทคโนโลยีการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยการทดสอบนั้นจะทดสอบโดยดูระยะห่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ที่เปลี่ยนแปลงตามตัวแปรใดบ้าง เพราะถ้าระยะห่างนั้นเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการอ่าน-เขียนของฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากเทคโนโลยีของการวัดนั้นมีหลากหลายวิธีซึ่งค่อนข้างจะใช้งบประมาณในการลงทุนสูง ยกตัวอย่างเช่นการใช้เลเซอร์ ดังนั้นจึงได้มีการเสนอวิธีในการวัดแบบใหม่คือ triple harmonics method ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่(1)

$$FH = -\frac{3\lambda}{4\pi} \ln\left(\frac{V_3}{V_1}\right) \quad \text{----- (1)}$$

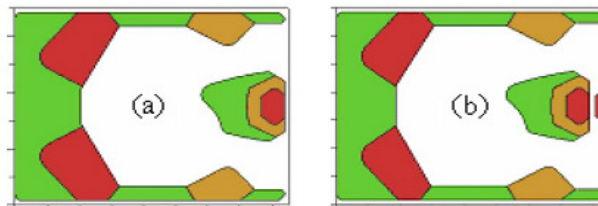
λ = wavelength of recording signal

V_1 = intensity of the first harmonics read back signal

V_3 = intensity of the third harmonics read back signal

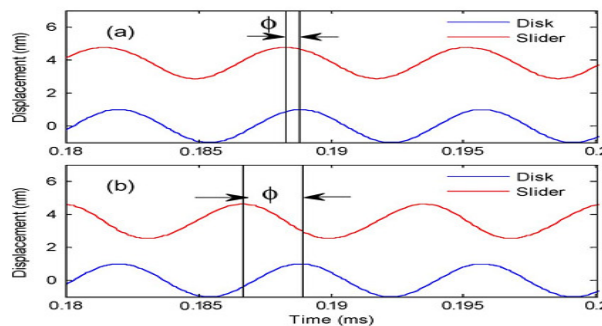
1.2.2 Low Flying-Height Slider with High Thermal Actuation Efficiency and Small Flying-Height Modulation Caused by Disk Waviness [3]

สำหรับฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันนี้ยิ่งระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ (FH) น้อยเท่าไรก็จะทำให้ความจุของฮาร์ดดิสก์มีความจุได้มากขึ้นไปอีกโดยจะรักษาระยะห่างระหว่างหัวอ่าน-เขียน และแผ่นดิสก์ให้คงที่เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการอ่าน-เขียนข้อมูล เทคนิคที่ใช้ยู่ตอนนี้คือ Thermal Fly-height Control (TFC) วิธีนี้จะต้องรักษาระยะห่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์และกำจัดการสูญเสียแบบคงที่ได้เท่านั้น (static FH loss) ไม่สามารถรักษาระยะห่างแบบ dynamic FH loss ได้ เช่นตอนที่แผ่นดิสก์มีการสั่นไหว ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบ air bearing surface (ABS) สำหรับ thermal fly-height control ดังภาพประกอบ 1-2 และได้ผลลัพธ์ของการจำลองผลการทดลองดังภาพประกอบ 1-3 ดังจะเห็นได้ว่า air bearing surface แบบ Panda3[3] นั้นรักษา FH ตอนแผ่นดิสก์มีการสั่นไหวได้ดี



ABS designs of TFC sliders (a) Panda 3; and (b) Design A.

ภาพประกอบ 1-2 โครงสร้าง Slider ABS 5 (a) Panda 3, (b) Design A [3]



ภาพประกอบ 1-3 ตำแหน่งการบินของโครงสร้าง Slider ABS (a) Panda 3, (b) Design A [3]

1.2.3 Interface solution for writing-induced nano-deformation of slider body [4]

เป็นการเพิ่มข้อมูลผลกระทบของความร้อนจากการเขียนข้อมูลลงไป โมเดลการจำลองผลการทำงาน เนื่องจากความร้อนจากการเขียนข้อมูลจะส่งผลกระทบต่อควบคุมระยะ FH และยังได้กล่าวถึงแรงดันอากาศที่กระทำต่อ ABS ที่ทำให้ค่าของ heat transfer coefficient เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยจากโมเดลของการออกแบบเมื่อ slider มีแรงดันอากาศกระทำที่ค่าต่างๆ จะทำให้ค่า heat transfer coefficient เปลี่ยนแปลงไป

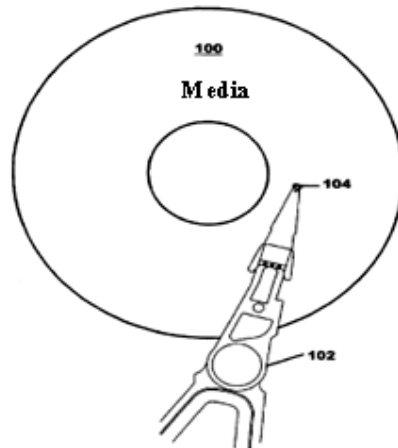
1.2.4 A MEMS-Based Monolithic Electrostatic Microactuator for Ultra-Low Magnetic Disk Head Fly Height Control [5]

วิธีการที่กล่าวถึงเป็นการออกแบบตัวกระตุ้นโดยมีแนวคิดที่ว่า การออกแบบนั้นจะต้องออกแบบ actuator ให้ถูกที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความง่ายในการออกแบบและการสร้างขึ้น มา โดยหัวอ่าน-เขียนของฮาร์ดดิสก์นั้นจะถูกคิดไว้ที่ actuator ซึ่งแขวนอยู่บนสปริง เมื่อ actuator ทำงาน หัวอ่าน-เขียนจะขึ้นลงในแนวแกนที่ตั้งฉากระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ โดยสามารถควบคุมระยะของหัวอ่าน-เขียนนี้ได้ เป็นที่น่าสังเกตว่าผลสุดท้ายของการทดลองได้ระบุไว้ว่าวิธีนี้จะทำงานไม่ได้หากไม่มีเซ็นเซอร์ที่ใช้วัด FH ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฮาร์ดดิสก์นั้นจะไม่มีเซ็นเซอร์ FH ดังนั้นการใช้วิธีนี้อาจจะไม่สามารถใช้งานได้จริง แต่ก็ยังสามารถหาวิธีที่แก้ไขได้คือ การใช้การอ่าน readback signal มาเพื่อคำนวณ FH และจุดที่สำคัญที่น่าเป็นห่วงอีกอย่างหนึ่งคือ ESD ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้วิธีนี้ควบคุมระยะของหัวอ่าน-เขียน เพราะถ้าหาก ESD เกิดขึ้นและการ shield อุปกรณ์รอบข้างไม่ดีพอจะทำให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนนั้นเสียหายได้ และเป็นไปไม่ได้ที่เราจะสามารถ shield อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ได้ทุกชิ้น ดังนั้นการป้องกันการเกิด ESD เป็นวิธีที่ดีที่สุด หรืออาจใช้วิธีอื่นในการควบคุมระยะ FH แทนเพื่อป้องกัน ESD

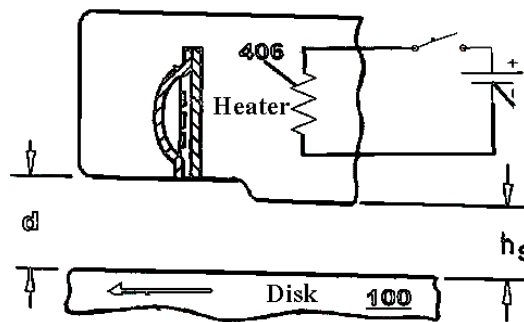
1.2.5 Predictive Failure Analysis of Thermal Flying Height Control System and Method TFC [6]

มีประโยชน์ในการทำนายข้อขัดข้องของฮาร์ดดิสก์ ดังรายละเอียดใน Us.Pat.No. 7,336,434 ภาพประกอบ 1-4 แสดง slider (หมายเลข 104) และ media (หมายเลข 100) ภาพประกอบ 1-5 แสดงภาพตัดขวางเฉพาะบริเวณหัวอ่านเมื่อไม่ให้ความร้อนซึ่งมีระยะ flying-height d มากกว่า nominal flying-height h_s ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้หัวอ่าน-เขียนแตะกับ media ในตอนเริ่มและสิ้นสุดการอ่าน-เขียน ภาพประกอบ 1-6 แสดงภาพตัดขวางเฉพาะบริเวณหัวอ่านเมื่อให้ความร้อน ซึ่งมีระยะ flying-height d มีค่าน้อยกว่า nominal flying-height h_s ซึ่งเพิ่มความหนาแน่นการอ่าน-เขียนดิสก์ได้มากขึ้น แต่การควบคุมระยะ flying-height ก็ยากขึ้นมากขึ้น โดยอัลกอริทึมในการทำนายข้อขัดข้องของฮาร์ดดิสก์ ในกรณีที่ตัวให้ความร้อนแบบที่มีพฤติกรรมการ

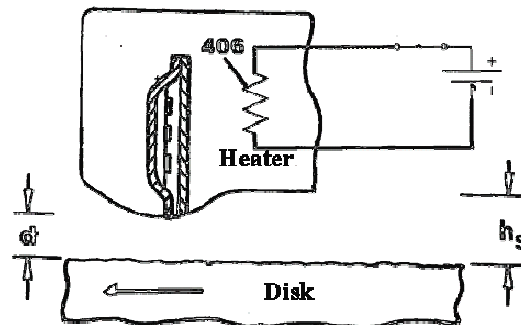
ลดลงของความต้านทานของหัวอ่าน-เขียน การเตือนข้อขัดข้องจะเกิดขึ้นเมื่อความต้านของ heater เพิ่มขึ้นทันทีทันใด 2-5% หรือ dR/dt เปลี่ยนเครื่องหมายจากลบเป็นบวก ในกรณีที่ตัวให้ความร้อนแบบที่มีพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของความต้านทานของหัวอ่าน-เขียน การเตือนข้อขัดข้องจะเกิดขึ้นเมื่อความต้านทานของตัวให้ความร้อนลดลงทันทีทันใด 2-5% หรือ dR/dt เปลี่ยนเครื่องหมายจากบวกเป็นลบ นอกจากนี้ random changes ของความต้านทานของตัวให้ความร้อนที่มากกว่าค่าความผิดพลาดที่กำหนดไว้ก็สามารถถูกนำมาเตือนข้อขัดข้องได้



ภาพประกอบ 1-4 หมายเลข 104 ตำแหน่งหัวฮาร์ดดิสก์และหมายเลข 100 ดิสก์ [6]



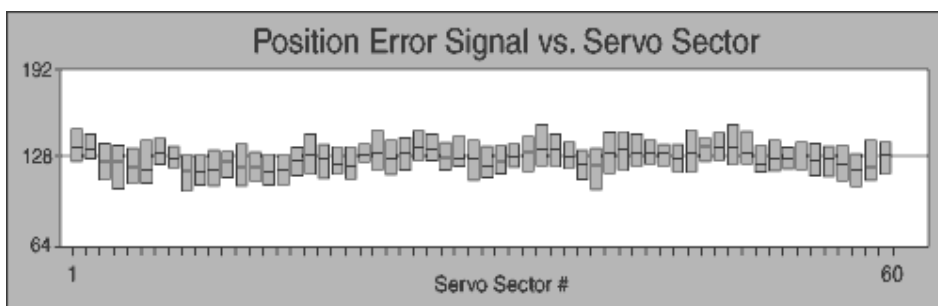
ภาพประกอบ 1-5 ภาพตัดขวางเฉพาะบริเวณหัวอ่าน-เขียนเมื่อไม่ให้ความร้อน [6]



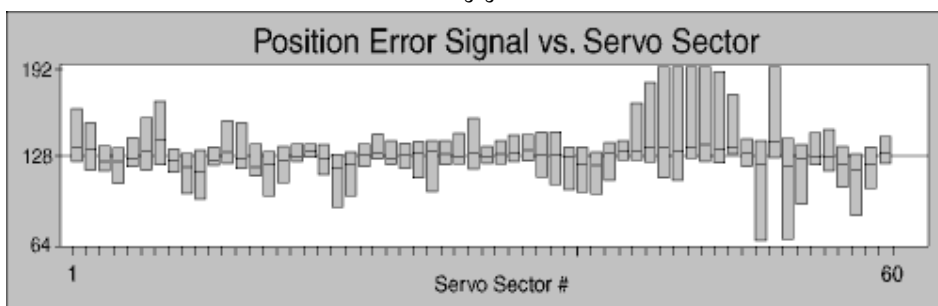
ภาพประกอบ 1-6 ภาพตัดขวางเฉพาะบริเวณหัวอ่าน-เขียนเมื่อให้ความร้อน [6]

1.2.6 Detection of Fly Height Change in a Disk Drive [7]

เป็นวิธีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่าน-เขียนของฮาร์ดดิสก์โดยการตรวจสอบจากรูปแบบของสัญญาณ position error signal ภาพประกอบ 1-7, 1-8 แล้วนำค่าเทรสโวลและค่าเฉลี่ยของสัญญาณนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนอัลกอริทึมเพื่อที่จะทราบการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่าน



ภาพประกอบ 1-7 ลักษณะสัญญาณ PES ของไดร์ฟปกติ [11]



ภาพประกอบ 1-8 ลักษณะสัญญาณ PES ของไดร์ฟผิดปกติ [11]

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระยะ FH ที่มีผลจากตำแหน่งของดิสก์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระยะ FH ที่มีผลต่อ SER
- 1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการควบคุม FH ให้ได้ค่า SER ที่ต่ำลง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เก็บและวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง FH และ SER ของฮาร์ดดิสก์ที่มีส่วนควบคุม thermal fly-height control
- 1.3.2 เก็บข้อมูลเฉพาะฮาร์ดดิสก์ที่ส่วนประกอบเกี่ยวข้องมีประสิทธิภาพสมบูรณ์
- 1.3.3 สามารถควบคุม FH เพื่อให้ได้ค่า SER น้อยลงได้

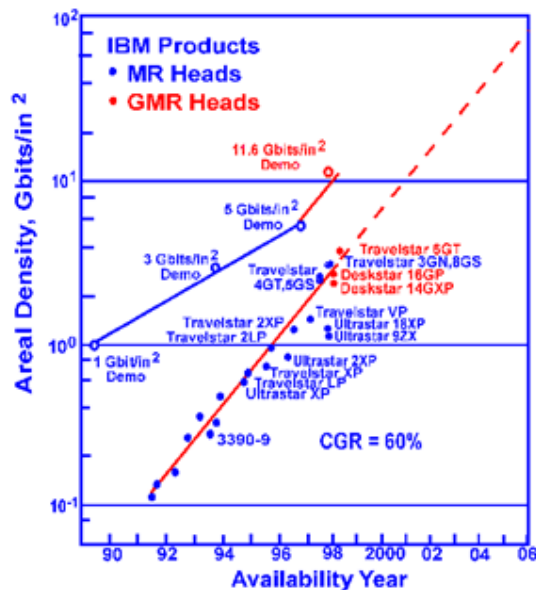
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในการพัฒนาระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูลสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จำเป็นต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจในองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องซึ่งถือเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล

2.1 ความเป็นมาของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ [8]

เทคโนโลยีของ magnetic hard disk drives (HDDs) ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยความสำเร็จของ HDDs มาจากการที่สามารถเพิ่มความจุได้มากขึ้นในขณะที่มีราคาลดลงเมื่อเทียบกับจำนวนไบต์ต่อราคา โดยมีค่าหนึ่งที่ถูกเรียกใช้บ่อยคือ areal density คือ จำนวนที่เก็บไว้ในพื้นที่บน media ขนาด 1 ตารางนิ้ว (bit per inch x track per inch) การปรับปรุง areal density เป็นสาเหตุของการทำให้ราคาต่อเมกกะไบต์ลดลงถึงภาพประกอบที่ 2-1 ซึ่งแสดงอัตราการเติบโตของเทคโนโลยีของ magnetic head ของ HDD ในแต่ละปีโดยเห็นได้ว่า areal density นั้นจะมีการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องโดยเมื่อถึงจุดๆหนึ่งเทคโนโลยีของ magnetic head จะเปลี่ยนไปโดยจะมีเทคโนโลยีใหม่เข้ามาแทนที่ ซึ่งการพัฒนาที่สำคัญที่สุดนั้นอยู่ที่ magnetoresistive (MR) head โดยการพัฒนา MR นี้จะถูกพัฒนาขึ้นมาจนมาเป็น giant magnetoresistive (GMR) head โดยมีประวัติเบื้องต้นดังนี้ ในปี 1991 บริษัท IBM เป็นผู้บุกเบิกการใช้ MR heads สำหรับ HDD 1GB ในฮาร์ดดิสก์ 3.5 นิ้ว และต่อมาในปี 1994 IBM ได้ใช้ MR heads ในการวิจัยเพื่อที่จะทำให้ HDD มี areal density 3 Gbits/in² หลังจากนั้นประมาณ 3 ปีต่อมา หรือก็คือในปี 1997 IBM สามารถผลิต HDD ได้ที่ 3 Gbits/in² โดยยังใช้ MR heads หลังจากนั้นการพัฒนา MR heads ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายมาเป็น GMR

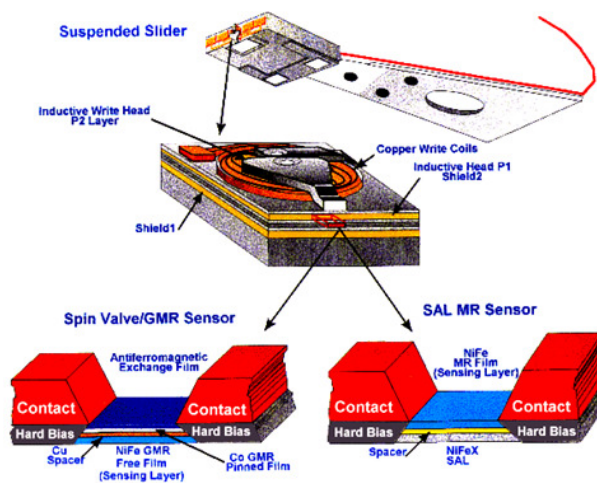


ภาพประกอบ 2-1 อัตราการเติบโตของเทคโนโลยีของ magnetic head ของ HDD [8]

2.2 เทคโนโลยีหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ

2.2.1 หัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ

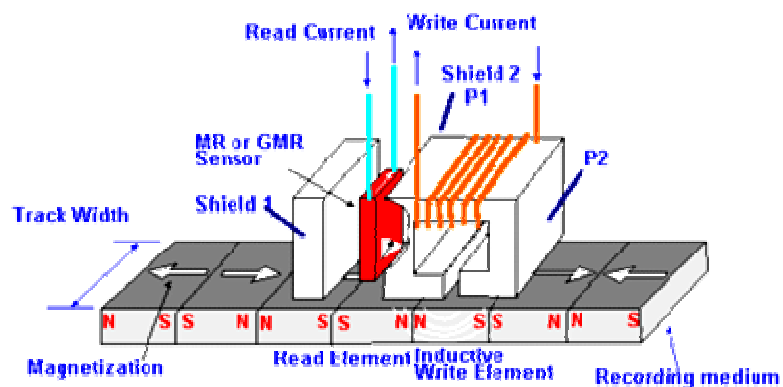
หัวอ่าน-เขียนเป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ซึ่งการออกแบบส่วนหัวของฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วยส่วนของการอ่านและเขียนดังภาพประกอบ 2-2 โดยหัวอ่าน-เขียนจะติดอยู่ที่ส่วนปลายของ slider และ slider จะติดกับ suspension อีกชิ้นส่วนหนึ่ง โดยหัวอ่าน-เขียนจะอยู่ห่างกันในระยะหนึ่งซึ่งหัวอ่าน-เขียนอยู่ระหว่างชั้นของ shield ที่มีหน้าที่ป้องกัน magnetic fields ระหว่างหัวทั้งสอง ซึ่งสาเหตุที่ผลิตส่วนของการอ่านเขียนแยกส่วน layer เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาในภายหลัง



ภาพประกอบ 2-2 โครงสร้างของ MR และ GMR [8]

2.2.2 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูล

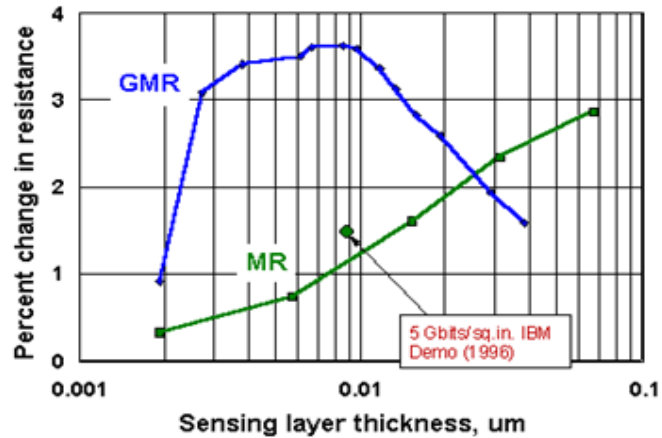
เมื่อฮาร์ดดิสก์เริ่มทำงานหัวอ่าน-เขียนของฮาร์ดดิสก์นั้นจะลอยอยู่บนดิสก์ เนื่องจากมีการออกแบบหน้า air bearing surface ที่ด้านใต้ slider ทำให้หัวอ่าน-เขียนบินอยู่บนดิสก์ โดยที่จะไม่สัมผัสกับหน้าของดิสก์ เมื่อเริ่มการเขียนข้อมูลจะมีการป้อนกระแสเพียงเล็กน้อยไปที่ write coil ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ส่วนปลายของหัวเขียนและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดขึ้นที่ดิสก์ด้วยและการอ่านข้อมูลนั้นจะเกิดขึ้นในส่วนของ MR หรือ GMR เซนเซอร์โดยเมื่อเซ็นเซอร์เคลื่อนผ่านสนามแม่เหล็ก ความต้านทานของเซนเซอร์จะเปลี่ยนไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กทำให้สามารถรู้ถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเขียนข้อมูลที่เกิดขึ้นได้



ภาพประกอบ 2-3 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูล [8]

2.2.3 เทคโนโลยีของ MR และ GMR

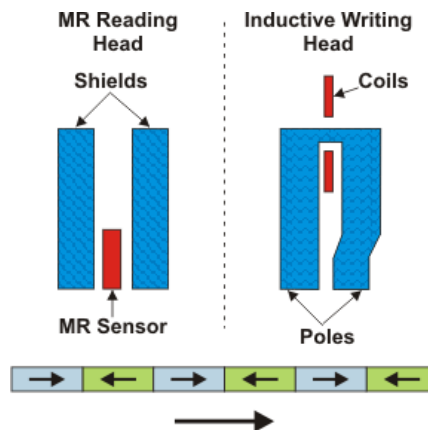
สำหรับเทคโนโลยีของ MR และ GMR เรื่องขนาดของเซนเซอร์ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์กล่าวไว้ว่าหากนำเซนเซอร์จำนวน 250,000 ตัวมาวางซ้อนกันจะมีความสูงน้อยกว่าหนึ่งนิ้วซึ่งทำให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นว่ามีขนาดเล็กมากซึ่งความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนของเซนเซอร์ MR และ GMR คือการตอบสนองของสนามแม่เหล็กวัดจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน โดยความต้านทานของ MR เซนเซอร์จะขึ้นกับคุณสมบัติของ sensing layer เป็นหลักสำหรับความต้านทาน GMR เซนเซอร์จะขึ้นกับธรรมชาติควอนตัมของอิเล็กตรอนด้วย โดยทั่วไป MR และ GMR เซนเซอร์จะประกอบด้วย layer ต่างๆเป็นจำนวนมากแต่มี layer หนึ่งที่เหมือนกันคือ sensing layer จะตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กภายนอกโดยเกิดขึ้นด้วยตัวของมันเองไม่ต้องมีการกระตุ้นใดๆจากภายในดังภาพประกอบ 2-4



ภาพประกอบ 2-4 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ sensing layer MR และ GMR [8]

2.2.4 โครงสร้างเบื้องต้นของ MR head [8, 9]

MR head มีอยู่สองส่วนหลักคือส่วนของการเขียนข้อมูลและส่วนของการอ่านข้อมูล ถูกออกแบบบนพื้นฐานความสามารถของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามสนามแม่เหล็กโดยทั่วไปของหัวอ่านมีส่วนประกอบของ Ni 81% และ Fe 19% ซึ่งถูกเรียกว่า permalloy และส่วนของ MR head ในการเขียนข้อมูลจะมี inductive thin film head ในการสร้างสนามแม่เหล็กโดยการป้อนกระแสไปที่ขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นระหว่างช่องว่างของ poles และเนื่องจาก head element อยู่ใกล้กับดิสก์มากทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้มีสนามแม่เหล็กเกิดที่ดิสก์ด้วยเพราะดิสก์มีสารแม่เหล็กเคลือบอยู่ ซึ่งการเรียงตัวของแม่เหล็กเหล่านี้จะเป็นแนวขนานกับดิสก์

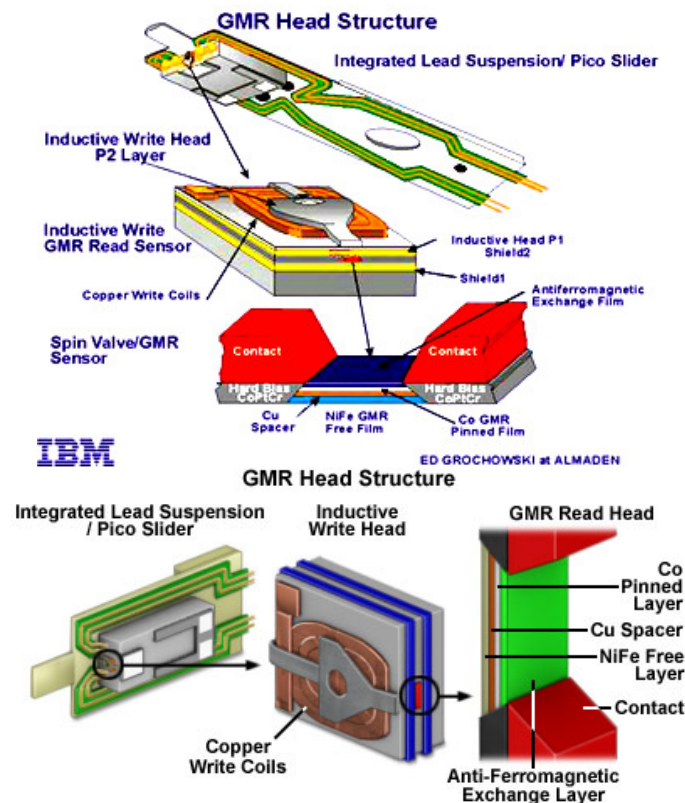


ภาพประกอบ 2-5 โครงสร้างเบื้องต้นของ MR head [9]

2.2.5 โครงสร้างเบื้องต้นของ GMR head [8, 9]

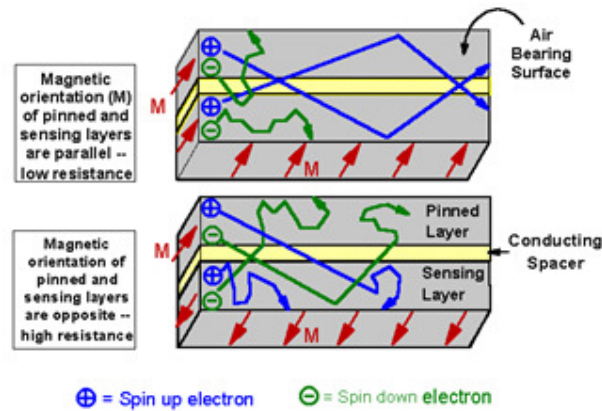
GMR head โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 layer ดังภาพประกอบ 2-6 ซึ่งวางตัวเรียงซ้อนตัวประกบกันเหมือนแซนวิช โดยแต่ละชั้นมีชื่อดังนี้

1. Free layer หรือในอีกชื่อหนึ่งคือ sensing layer ผลิตมาจาก nickel-iron alloy อิเล็กตรอนเคลื่อนที่อิสระในชั้นนี้เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก
2. Spacer เป็นชั้นที่ทำมาจากทองแดงเป็นตัวชั้นกลางระหว่าง free layer กับ pinned layer เพื่อเป็นตัวชั้นกลางของสนามแม่เหล็กของชั้นทั้งสอง
3. Pinned layer ชั้นนี้ทำมาจากโคบอลต์โดยสนามแม่เหล็กในชั้นนี้จะถูกวางตัวอย่างคงที่ซึ่งได้รับผลมาจาก exchange layer และส่วนหนึ่งจาก free layer โดยในส่วนของ free layer จะทำให้ pinned layer มีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก
4. Exchange layer ชั้นนี้ทำมาจาก antiferromagnetic ซึ่งเป็นโครงสร้างของ iron และ manganese สนามแม่เหล็กในชั้นนี้จะเรียงตัวอย่างคงที่เพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำทำให้ชั้น pinned layer มีสนามแม่เหล็กเรียงตัวตามด้านที่อยู่ใกล้กัน



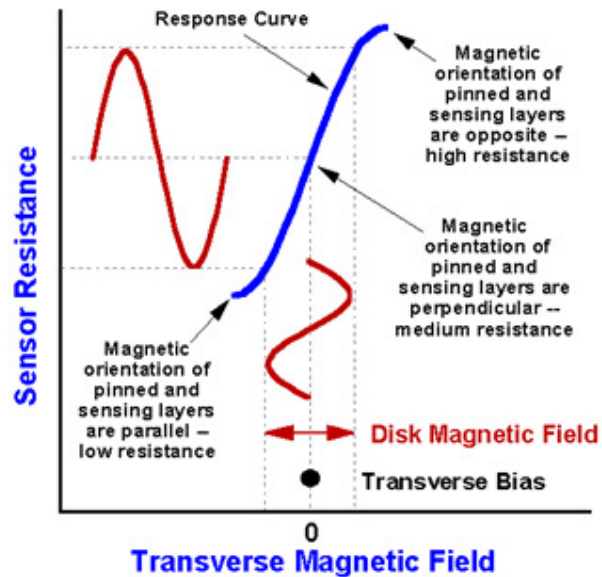
ภาพประกอบ 2-6 โครงสร้างเบื้องต้นของ GMR head [13]

การทำงานของ GMR นั้นเมื่อหัวอ่านเคลื่อนผ่านสนามแม่เหล็ก หากสนามแม่เหล็กบริเวณ free layer มีทิศเดียวกับ pinned layer จะทำให้ค่าความต้านทานของ GMR ลดลงและหากสนามแม่เหล็กบริเวณ free layer มีทิศตรงกันข้ามกับ pinned layer จะทำให้ค่าความต้านทานของ GMR เพิ่มขึ้น โดยการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-7 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนของ GMR sensor [8]

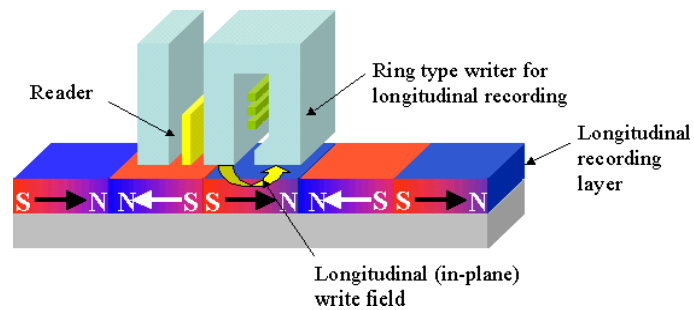
สาเหตุที่ GMR มีผลตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กและทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่า MR เนื่องจากการออกแบบเป็น 4 layer ทำให้สามารถกำหนดกราฟของผลตอบสนองได้ดังภาพประกอบ 2-8 ซึ่งกราฟของผลตอบสนองนี้ขึ้นอยู่กับความหนาที่เหมาะสมของ free layer



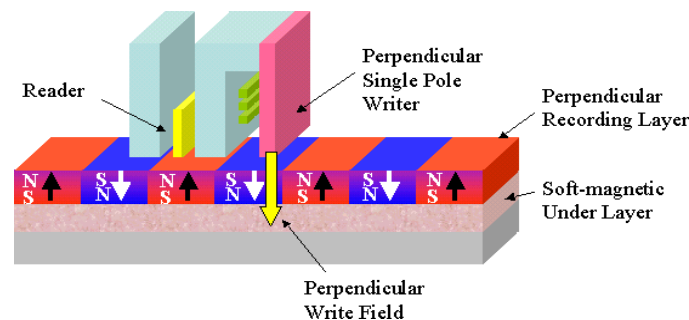
ภาพประกอบ 2-8 ผลตอบสนองของสนามแม่เหล็กต่อความต้านทานของ GMR [8]

2.2.6 การเขียนข้อมูลแบบ longitudinal และ perpendicular

ความแตกต่างของ longitudinal และ perpendicular recording ก็คือ longitudinal แม่เหล็กที่ถูกเขียนลงไปทีดิสก์จะเรียงตัวตามแนวอนของดิสก์หรือก็คือขนานกับดิสก์ดังภาพประกอบ 2-9 ส่วน perpendicular นั้นแม่เหล็กที่ถูกเขียนลงไปทีดิสก์จะถูกเขียนลงไปในแนว ลึกหรือก็คือตั้งฉากกับดิสก์นั่นเอง โดยแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของทิศขึ้นบนหรือลงล่างดัง ภาพประกอบ 2-10



ภาพประกอบ 2-9 การเขียนข้อมูลแบบ longitudinal [14]



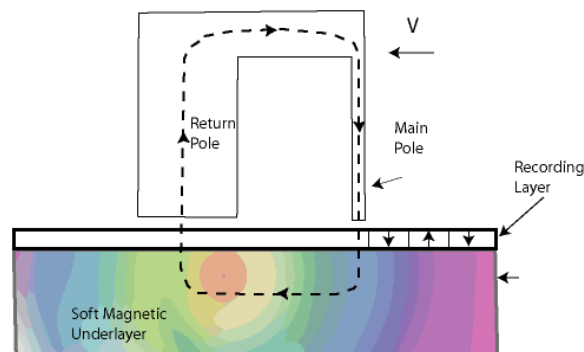
ภาพประกอบ 2-10 การเขียนข้อมูลแบบ perpendicular [14]

2.2.7 การเปลี่ยนแปลงสู่เทคโนโลยีของ perpendicular

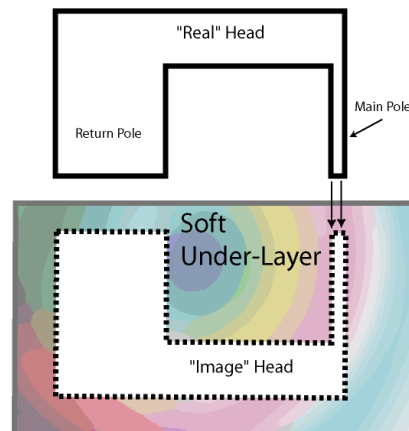
เทคโนโลยีของ perpendicular ถูกคิดค้นมานานับหลายสิบปีแล้วหรือเกือบจะพร้อมกันกับเทคโนโลยีของ longitudinal แต่เนื่องจากในทางอุตสาหกรรมขณะนั้นประสบผลสำเร็จในการใช้เทคโนโลยี longitudinal recording เพื่อผลิตฮาร์ดดิสก์ได้และสามารถทำให้มีความจุสูงเพิ่มขึ้นมาได้อย่างต่อเนื่องทำให้เทคโนโลยีของ perpendicular recording หดชะงักลง แต่เมื่อมาถึงจุดๆ หนึ่งที่เทคโนโลยีของ longitudinal recording ไม่สามารถสร้างให้เกิดฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุสูงขึ้นไปได้อีกเพราะเกิดจากข้อจำกัดของ paramagnetic effect ทำให้เทคโนโลยี perpendicular recording ถูกนำกลับมาพัฒนาอีกครั้ง

2.2.8 เทคโนโลยีของ perpendicular recording

เนื่องจากเทคโนโลยีของ perpendicular recording แตกต่างจาก longitudinal recording ดังนั้นโครงสร้างของหัวอ่าน-เขียนและโครงสร้างของดิสก์บางส่วนจึงได้แตกต่างออกไป ด้วยแสดงดั่งภาพประกอบ 2-11 แม่เหล็กที่ถูกเขียนในแนวตั้งเกิดขึ้นจากหัวเขียนที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ แต่ยังคงมีส่วนคล้ายกับแบบเก่าซึ่งเมื่อมีการเขียนข้อมูลลงไปที่ดิสก์โดยโครงสร้างของดิสก์จะมีชั้นๆหนึ่งเพิ่มเข้ามาหลังจากชั้น recording layer เรียกว่า soft magnetic under Layer (SUL) ทำหน้าที่ส่งผ่าน magnetic flux จาก main pole กลับไปที่ return pole ทำให้เกิดแม่เหล็กขึ้นในแนวตั้ง คล้ายกับว่าเมื่อเปรียบกับ fringing field ของ longitudinal recording เป็นการผ่าครึ่งหัวเขียนแบบ longitudinal recording และฝั่งครึ่งที่เหลือไว้ใน SUL เสมือนว่า SUL เป็น magnetic head อีกครึ่งหนึ่งที่เหลือดั่งภาพประกอบ 2-12 โดยที่ปกตินสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก longitudinal recording ผ่านอากาศในแนวโค้งทำให้เกิดแม่เหล็กในแนวราบกับดิสก์ แต่ด้วยวิธี perpendicular recording สนามแม่เหล็กจะผ่านอากาศในแนวตรงทะลุผ่าน recording layer และ SUL ที่กั้นอยู่ระหว่าง main pole และ return pole ทำให้เกิดเป็นแม่เหล็กแนวตั้งหรือตั้งฉากกับดิสก์เกิดขึ้น



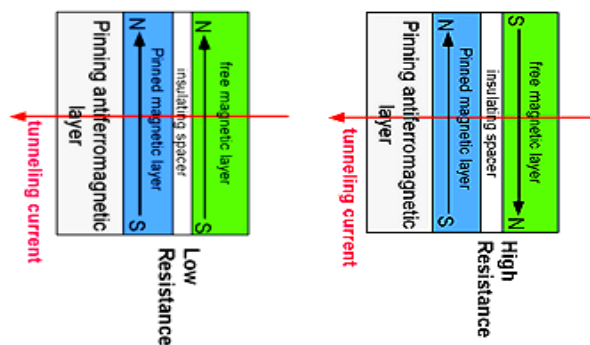
ภาพประกอบ 2-11 โครงสร้างหัวอ่าน-เขียนของเทคโนโลยี perpendicular [15]



ภาพประกอบ 2-12 โครงสร้างของ soft magnetic under layer [15]

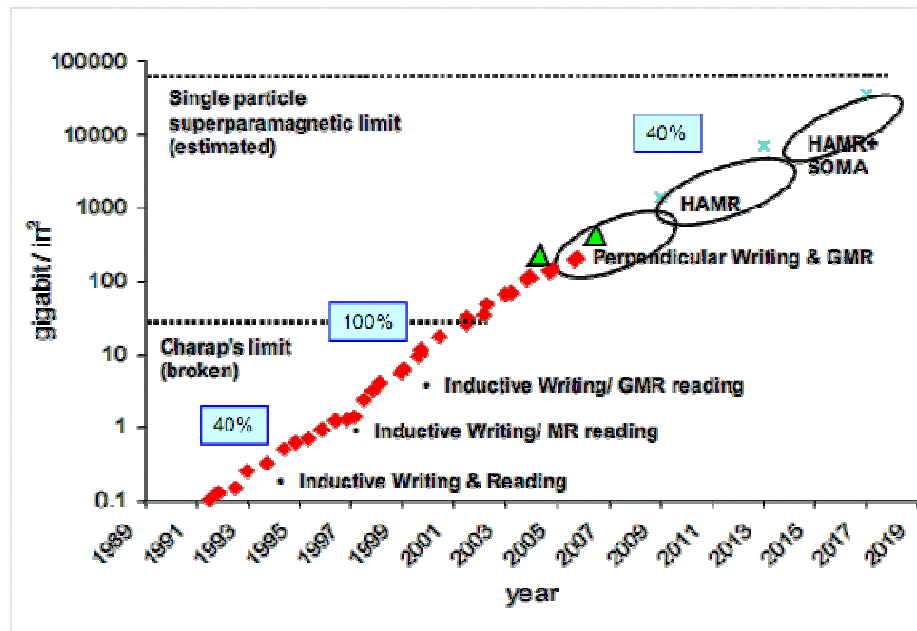
2.2.9 เทคโนโลยีของ tunnel magneto resistance (TMR)

โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 layer ซึ่งคล้ายกับ GMR เพียงแต่ต่างกันที่ชั้นของ spacer layer ของ GMR จะเปลี่ยนเป็น insulating ดังภาพประกอบ 2-13 เนื่องจากชั้นนี้เล็กมากจึงทำให้กระแสนบางส่วนสามารถไหลผ่านได้ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเรียงตัวแม่เหล็กของ layer ที่อยู่ติดกันกับชั้น insulating ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนจึงสามารถใช้เป็นเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กได้ โดยทั่วไปหลักการต่างๆจึงคล้ายกันกับ GMR เพียงแต่ layer ของ TMR จะตั้งฉากกับดิสก์เมื่อ TMR เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กที่ถูกเขียนในแบบ perpendicular recording สนามแม่เหล็กบริเวณชั้นของ free layer จะเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กที่ TMR ผ่าน โดยหาก free layer เรียงตัวทิศเดียวกับ pinned layer ค่าความต้านทานจะมีค่าต่ำ และหากเรียงตัวในทิศทางตรงกันข้ามค่าความต้านทานจะมีค่าสูง



ภาพประกอบ 2-13 โครงสร้าง tunnel magneto resistance layer [16]

สังเกตได้ว่าเทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ areal density เพิ่มมากขึ้น และปัจจุบันนี้ (2010) เทคโนโลยีของการบันทึกและอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ได้มาอยู่ที่ perpendicular recording และ TMR ทำให้ areal density สูงขึ้นไปอีก หากแต่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งเทคโนโลยีนี้ก็ถึงขีดจำกัดของมันหลังจากนั้นก็จะมีเทคโนโลยีใหม่เข้ามาแทนที่ ดังจะเห็นได้จากภาพประกอบ 2-14 ซึ่งเป็นกราฟที่ทางบริษัทซีเกทได้นำเสนอให้เห็นแนวโน้มของเทคโนโลยีตั้งแต่อดีตจนถึงเทคโนโลยีที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และเทคโนโลยีที่อาจจะเข้ามาแทนที่ perpendicular recording ในระยะเวลาอันใกล้ก็คือ heat assisted magnetic recording (HAMR) เนื่องจากการให้ความร้อนแก่ดิสก์ในขณะที่เริ่มกระบวนการเขียนจะทำให้สามารถเขียนแม่เหล็กที่เล็กกว่าการเขียนแบบ perpendicular recording ได้โดยแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นยังคงเป็นแนวตั้งหรือก็คือตั้งฉากกับดิสก์เช่นเดียวกับ perpendicular recording



© 2008 Seagate Technology. All rights reserved.



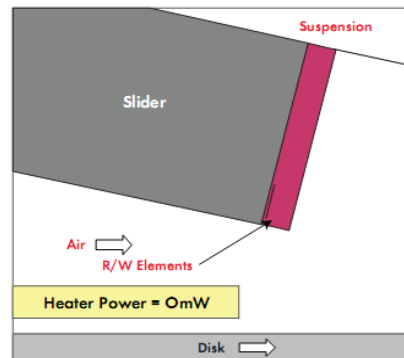
ภาพประกอบ 2-14 แนวโน้มเทคโนโลยีหัวอ่าน-เขียน [17]

2.3 เทคโนโลยีการกำหนดระยะ FH

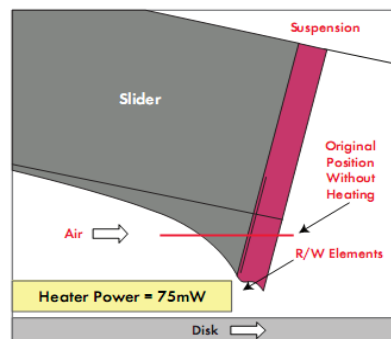
2.3.1 เทคโนโลยี thermal fly-height control (TFC) [1]

สำหรับการสร้างฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุสูงนั้นมีความท้าทายเป็นอย่างมาก ต้องหาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อสร้างฮาร์ดดิสก์ความจุสูงขึ้นมา วิธีการหนึ่งคือการอ่าน-เขียนข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพบนดิสก์ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิในการทำงาน และเงื่อนไขของ read/write duty cycle พารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อ error rate และความจุของฮาร์ดดิสก์ คือ ระยะห่างของช่องว่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์กับดิสก์ซึ่งเรียกว่า fly-height จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยได้รับผลมาจากอุณหภูมิและ read/write duty cycle ซึ่งจะมีผลต่อช่องว่างของหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ที่กำลังทำงานอยู่ในขณะนั้น ดังนั้นการควบคุมระยะห่างระหว่างหัวอ่าน และแผ่นดิสก์ให้อยู่ในระยะที่เหมาะสมตลอดการอ่าน-เขียนจึงมีความจำเป็น ฮิตาชิได้นำเทคโนโลยี thermal fly-height control มาใช้ในการกำหนดระยะห่างระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ โดยมีการติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิและชุดควบคุมกระแสที่ชุดหัวอ่าน ทำให้สามารถมอนิเตอร์และควบคุมอุณหภูมิได้ หลักการทำงานก็คือที่หัวอ่าน-เขียนจะมีตัวทำความร้อน โดยตัวทำความร้อนจะเพิ่มความร้อนที่หัวอ่าน-เขียนทำให้หัวอ่าน-เขียนเมื่อได้รับความร้อนจะขยายออกและยื่นตัวออกไปใกล้กับดิสก์ทำ

ให้ FH ลดลงดังภาพประกอบ 2-15 ตอนก่อนให้ความร้อน และภาพประกอบ 2-16 หลังให้ความร้อน เนื่องจากเทคนิคนี้จะใช้การวัด FH ตอนเริ่มต้นจากวงในสุดและนอกสุดของแผ่นดิสก์ หลังจากนั้นจึงคำนวณและกำหนดค่า FH เป็นค่าคงที่ทำให้ FH นั้นประสิทธิภาพที่ได้ยังไม่สูงมากนัก เนื่องจากค่า FH ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างวงในสุดและนอกสุดของดิสก์เท่านั้น



ภาพประกอบ 2-15 หัวอ่าน-เขียนก่อนให้ความร้อน [1]



ภาพประกอบ 2-16 หัวอ่าน-เขียนหลังให้ความร้อน [1]

2.3.2 Touch down power (TDP)

คือกำลังงานที่ทำให้หัวอ่าน-เขียนของฮาร์ดดิสก์สัมผัสกับดิสก์โดยจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นที่หัวอ่าน-เขียน ทำให้เมื่อหัวอ่าน-เขียนได้รับความร้อนจะขยายตัวขึ้นออกมาเข้าใกล้ตะแคงแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นระยะระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ ยกตัวอย่างเช่น ฮาร์ดดิสก์มี TDP 70mW และมีอัตราส่วนของกำลังงานที่ใช้ต่อการยืดของหัวอ่าน/เขียนที่ $1\text{mW}/0.2\text{nm}$ ดังนั้นหากต้องการให้หัวอ่าน/เขียนอยู่ห่างจากดิสก์ 4nm จะต้องป้อนกำลังงานให้แก่หัวอ่าน/เขียนเท่ากับ $70\text{mW} - (4/0.2)\text{mW}$

2.4 การระบุประสิทธิภาพ/ตำแหน่งของหัวฮาร์ดดิสก์

2.4.1 Soft Error Rate (SER)

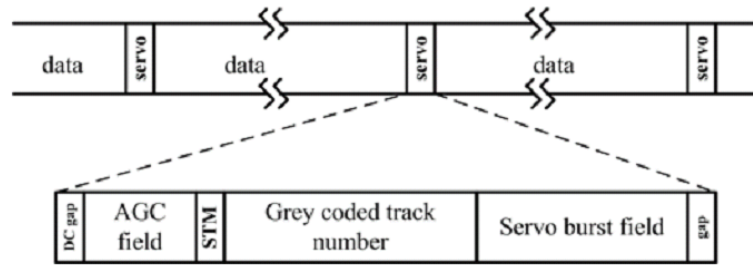
คือพารามิเตอร์หนึ่งของฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยจะมีการเขียนสัญญาณลงไปก่อนและอ่านสัญญาณกลับขึ้นมาหลายๆครั้งต่อการเขียนหนึ่งครั้งในพื้นที่หนึ่งหน่วย (100 sector) ซึ่งใน 100 sectors จะมีการเขียนสัญญาณลงไป 3 รอบ โดยในแต่ละรอบจะมีการอ่านสัญญาณขึ้นมา 30 ครั้ง โดยการทดสอบจะมีการเขียนสัญญาณทั้งหมด 3 รอบเพราะฉะนั้นจะมีการอ่านข้อมูลทั้งหมด 9000 ครั้ง (100 sector x 3 timeWrite x 30 timeRead) ซึ่งในการอ่านข้อมูลกลับมาจะกำหนดค่าของ error correcting code (ECC) เท่ากับ 0 โดยการทดสอบนี้สามารถทำได้ทุกแตร็คของฮาร์ดดิสก์ หลังจากนั้นจึงตรวจสอบการอ่านค่าจากทั้งหมด 9000 ครั้งมี error เกิดขึ้นกี่ครั้งแล้วนำมาคำนวณ SER โดยใช้สมการที่ (2.1)

$$SER = \text{Log}\{\text{Error count} / (9000 \times 512 \text{Byte} \times 8 \text{bit})\} \quad (2.1)$$

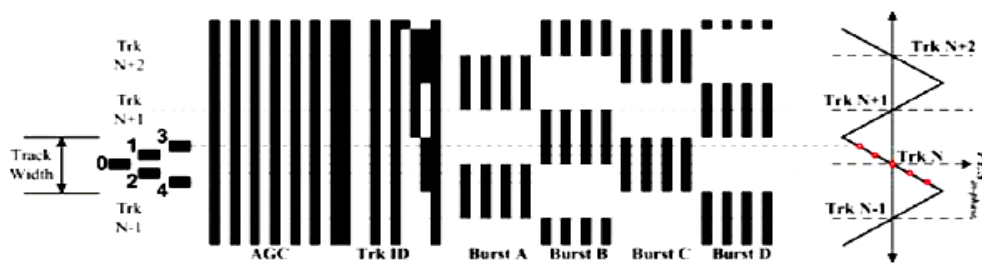
จะเห็นได้ว่า SER ที่ดีจะต้องมี error count น้อยมากๆ ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณจะเป็นค่าติดลบยิ่งมีค่าติดลบมากเท่าไรนั่นหมายถึง SER ยิ่งดีขึ้นไปด้วย

2.4.2 Position Error Signal (PES) [10]

ในแต่ละแตร็คของฮาร์ดดิสก์ไม่ได้มีแต่ข้อมูลที่ผู้ใช้งานเขียนลงไปเท่านั้นแต่ยังรวมถึงข้อมูลของ servo ด้วยมีด้วยกัน 5 ส่วนสำคัญคือ DC-gap field, automatic gain control (AGC) field, servo timing mask (STM) field, grey coded track number field, position burst pattern field ดังภาพประกอบ 2-17 แต่ส่วนที่เกี่ยวข้องกับ PES นั้นมีอยู่ด้วยกันสองส่วนคือ grey coded track number field และ position burst pattern field โดย grey coded track number field เป็นตัวระบุหมายเลขแตร็คเพื่อให้ตัวคอนโทรลรู้ว่าขณะนี้หัวอยู่ที่ตำแหน่งใด ส่วน position burst pattern field เป็นรูปแบบของเซอร์โวเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของหัวอ่านว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดโดยใช้รูปแบบการเขียนเป็น pattern A B C D ดังภาพประกอบ 2-18

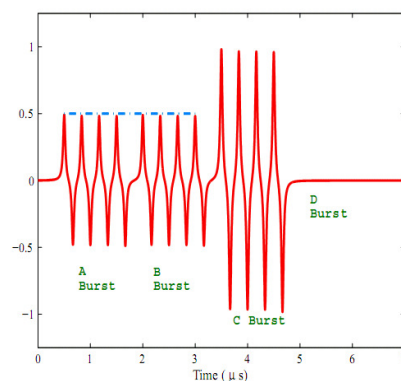


ภาพประกอบ 2-17 โครงสร้างของ track [10]

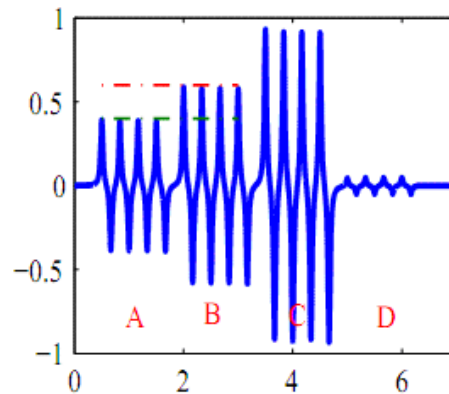


ภาพประกอบ 2-18 รูปแบบของ burst pattern [10]

เมื่อฮาร์ดดิสก์ทำงานหากหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์อยู่ที่ตำแหน่งที่ 0 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของแทร็ค N สัญญาณที่อ่านได้จาก burst C จะมีค่าสูงสุด burst D จะเป็น 0 ส่วน burst A, B จะมีค่าเท่ากันแต่น้อยกว่า burst C โดยรูปแบบของสัญญาณที่อ่านได้จากตำแหน่ง 0 สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2-19 ถ้าหากว่าตำแหน่งของหัวอ่านไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งที่ 0 สัญญาณที่อ่านได้จาก Burst A B C D ก็ จะแตกต่างกันออกไปด้วย ยกตัวอย่างเช่นหากหัวอ่านอยู่ที่หมายเลข 1 สัญญาณที่อ่านได้จาก burst B ย่อมสูงกว่า burst A เพราะหัวอ่านอยู่ใกล้มากกว่าซึ่งตำแหน่งของหัวอ่านหมายเลข 1 ตาม ภาพประกอบ 2-18 สามารถแสดงรูปแบบสัญญาณได้ดังภาพประกอบ 2-20



ภาพประกอบ 2-19 สัญญาณที่ตำแหน่ง 0 [10]



ภาพประกอบ 2-20 สัญญาณที่ตำแหน่ง 1 [10]

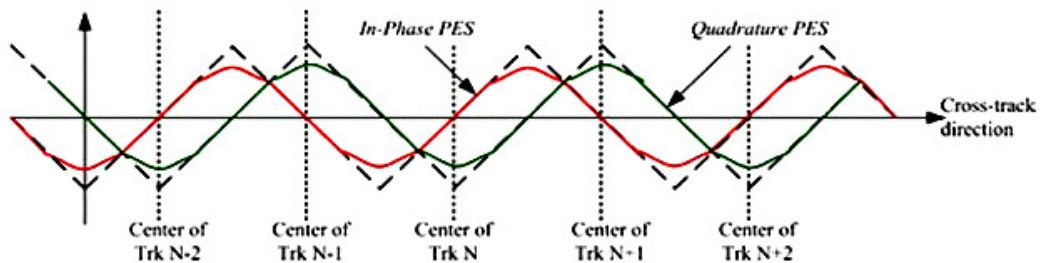
ดังนั้นตำแหน่งที่หัวอ่านอยู่ห่างจากศูนย์กลางของแทร็คสามารถคำนวณได้จาก burst signal เหล่านี้ ดังนั้นตำแหน่งศูนย์กลางของแทร็คสามารถคำนวณได้จากสัญญาณ burst เมื่อสัญญาณที่อ่านได้จาก burst A เท่ากับ burst B ซึ่งความแตกต่างของ A และ B เรียกว่า in-phase PES signal ดังสมการที่ (2.2)

$$PES_{in-phase} = A_A - A_B \quad (2.2)$$

เพื่อยืนยันตำแหน่งของหัวอ่านในขณะที่อยู่บนแทร็คนอกจาก burst A, B แล้ว ยังใช้ burst C, D ด้วย โดยใช้หลักการเดียวกันกับ burst A, B เพียงแต่หากหัวอ่านอยู่กึ่งกลางแทร็คจะอ่านค่าสัญญาณ burst C ได้สูงสุดและไม่สามารถอ่านสัญญาณ burst D ได้ ซึ่งความแตกต่างของ C และ D เรียกว่า quadrature PES signal ดังสมการที่ (2.3)

$$PES_{quadrature} = A_C - A_D \quad (2.3)$$

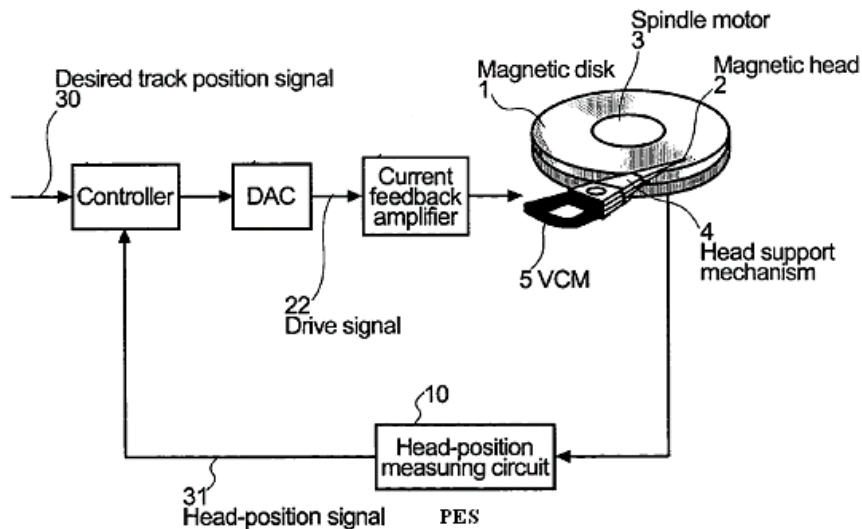
โดยหากใช้หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์แยกอ่านค่าของแต่ละแทร็คไม่เฉพาะจุดที่คิดว่าเป็นศูนย์กลางจะได้อุปสัญญาณดังภาพประกอบ 2-21 ซึ่งเฟสจะต่างกัน 90 องศา



ภาพประกอบ 2-21 สัญญาณ PES in-phase และ quadrature [10]

2.4.3 การควบคุมตำแหน่งหัวอ่าน-เขียนให้อยู่กึ่งกลางแทร็ค

กระบวนการของการอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์เมื่อต้องการไปที่แทร็คที่ต้องการ จะเริ่มจากกระบวนการค้นหา track ID ซึ่งกำหนดโดย gray code number หลังจากนั้นเมื่อพบแทร็คที่ต้องการแล้ว จึงพยายามทำให้หัวอ่านอยู่กึ่งกลางของแทร็ค โดยอ้างอิงตำแหน่งของหัวอ่านจากค่า PES ตามหัวข้อ 2.3.2 โดยกระบวนการของการให้หัวอ่านอยู่กึ่งกลางของแทร็คแสดงดังภาพประกอบ 2-22 เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ไปถึงแทร็คที่ต้องการแล้วแต่หัวอ่านยังไม่อยู่ตรงกึ่งกลางของแทร็คซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยระดับสัญญาณ PES จากนั้นส่วนของการควบคุม (controller) จะส่งค่าดิจิทัลเพื่อแปลงเป็นอนาล็อก digital to analog converter (DAC) ไปที่ voice coil motor (VCM) เพื่อปรับให้หัวอ่านอยู่ตรงกึ่งกลางของแทร็คหรือใกล้เคียงกึ่งกลางของแทร็คมากที่สุดจึงเริ่มอ่านหรือเขียนข้อมูล



ภาพประกอบ 2-22 การทำงานของ head position loop control [12]

บทที่ 3

การจำลองการทำงานและทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่าน-เขียน

หลังจากได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทำให้เข้าใจเกี่ยวกับวิธีการกำหนดระยะเวลาการบินและความสัมพันธ์ของ PES และ DAC ในการควบคุมหัวอ่าน-เขียนจึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการจำลองการทำงานและทดสอบหาความสัมพันธ์และพฤติกรรมของหัวอ่าน-เขียนเมื่อเคลื่อนตัวเข้าใกล้ดิสก์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูลสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในบทต่อไป

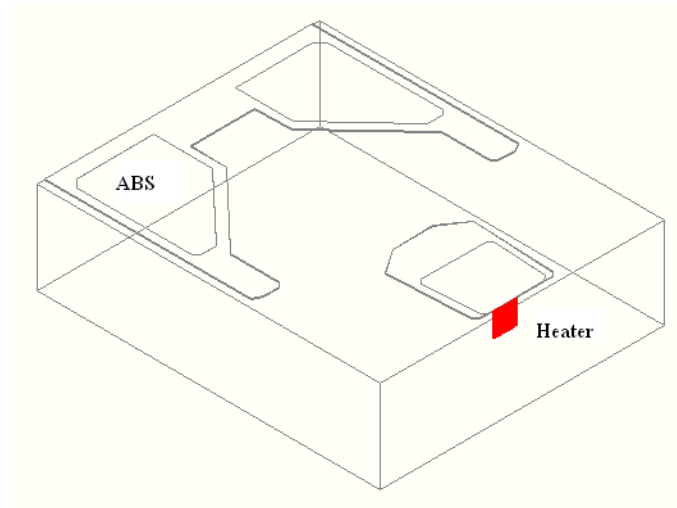
3.1 การจำลองการทำงานการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียน

จุดประสงค์การจำลองการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียนเพื่อดูแนวโน้มการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียนเมื่อถูกให้ความร้อนจากฮีตเตอร์โดยการจำลองการทำงานจะทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการยื่นตัวเมื่อได้รับความร้อน เนื่องจากการระบุระยะเวลาการบินของหัวอ่าน-เขียนคำนวณจากค่ากำลังงานที่ทำให้หัวอ่าน-เขียนสัมผัสดิสก์ซึ่งระบุไว้ในบทที่ 2 โดยถูกระบุเป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงจำลองการยื่นตัวโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อดูการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียนเป็นไปอย่าง เป็นเชิงเส้นหรือไม่ โดยการทดสอบการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียนจะจำลองการทำงานโดยกำหนดค่า อุณหภูมิภายนอกเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งจากนั้นจึงปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของฮีตเตอร์เพื่อดูการยื่นตัวของหัวอ่าน-เขียน

3.1.1 วิธีการจำลองการทำงาน

1. สร้างโครงสร้าง slider ชนิด femto ที่มีความกว้าง 0.7 mm ยาว 0.85mm สูง 0.22mm โดยมีฮีตเตอร์ติดอยู่บริเวณส่วนปลายซึ่งมีขนาดความกว้าง 0.003 mm ยาว 0.057mm สูง 0.057mm ดังภาพประกอบ 3-1

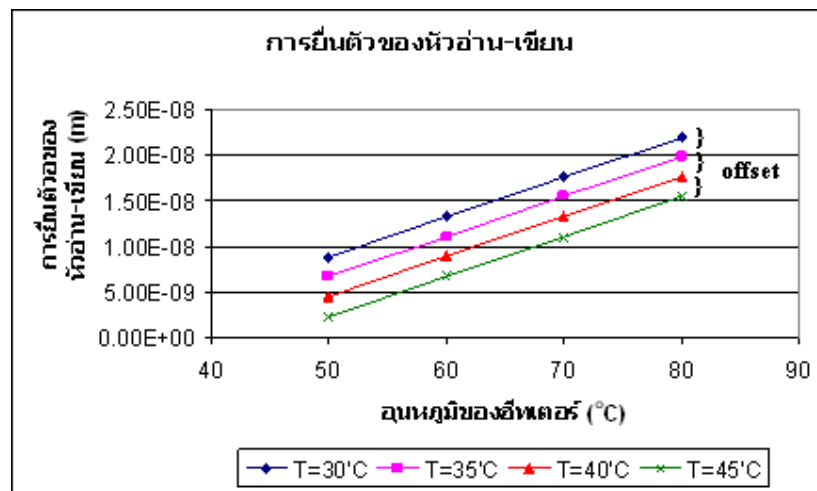
- กำหนดอุณหภูมิภายนอกเป็น 30, 35, 40, 45 (°C)
- กำหนดอุณหภูมิฮีตเตอร์เป็น 50, 60, 70, 80 (°C)
- กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนคือ 100,000 (W/m².k)
- เริ่มจำลองการทำงาน
- บันทึกผล



ภาพประกอบ 3-1 โครงสร้าง slider

3.1.2 ผลการจำลองการทำงาน

ผลการจำลองการทำงานเพื่อยืนยันความเป็นเชิงเส้นของการขึ้นตัวของหัวอ่าน-เขียน โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 การขึ้นตัวของหัวอ่านเขียน

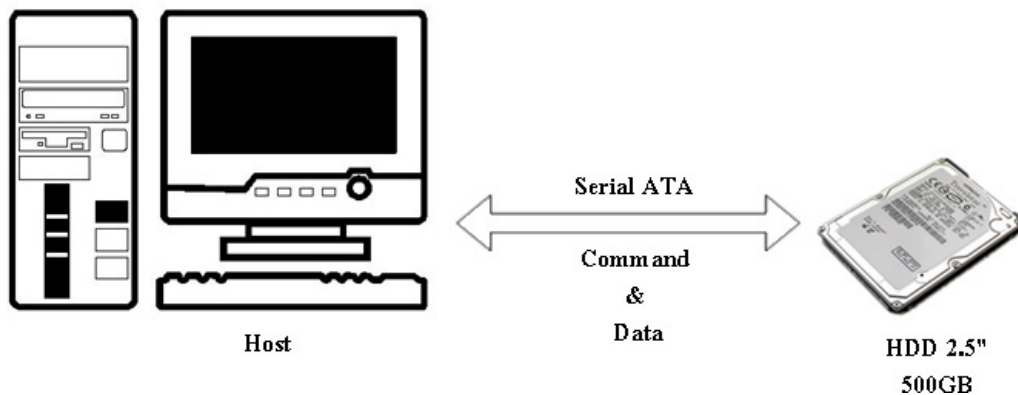
จากการทดสอบการขึ้นตัวของหัวอ่าน-เขียนเพื่อยืนยันความเป็นเชิงเส้นของค่า TDP จากบทที่สองนั้น ผลการจำลองการทำงานเมื่อให้ความร้อนในแต่ละค่าที่ทำการทดสอบเพื่อดูการขึ้นตัว ผลการทดสอบทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าสามารถทำให้หัวอ่าน-เขียนขึ้นตัวเป็นเชิงเส้นโดยผลของอุณหภูมิภายนอกมีผลต่อค่า offset ดังภาพประกอบ 3-2

3.2 การทดสอบความสัมพันธ์ PES และ DAC

จุดประสงค์การทดสอบนี้เป็นการทดสอบค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับการควบคุมตำแหน่ง การระบุตำแหน่งและกำลังงานที่ป้อนให้แก่หัวอ่าน-เขียน เพื่อนำพารามิเตอร์เหล่านี้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยดูความสัมพันธ์ของการลดระยะ FH จนใกล้สัมผัสสติกกับพารามิเตอร์ที่กล่าวถึงมีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับระยะ FH หรือไม่จากนั้นจึงเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดมาใช้ในการออกแบบอัลกอริทึม

3.3 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในการทดสอบ

ระบบที่ใช้ทดสอบแสดงให้เห็นภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบที่เกี่ยวกับการทดลองทั้งหมดในบทนี้ โดยแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์และเทคโนโลยีการสื่อสารดังภาพประกอบ 3-3 ประกอบด้วย host ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่บรรจุซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ ใช้ในการส่งข้อมูลคำสั่งการทดสอบจาก host ไปยังฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และรับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มายัง host เพื่อดูผลของการทดสอบในแต่ละคำสั่งหรือในแต่ละเงื่อนไขในการทดสอบผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ serial ATA โดยภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกบรรจุโปรแกรมที่สามารถรับรู้คำสั่งที่ถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์เพื่อส่งข้อมูลที่ต้องการกลับไปยังคอมพิวเตอร์ได้ โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นของบริษัทฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด รุ่น 2.5 นิ้วขนาดความจุ 500 กิกะไบต์



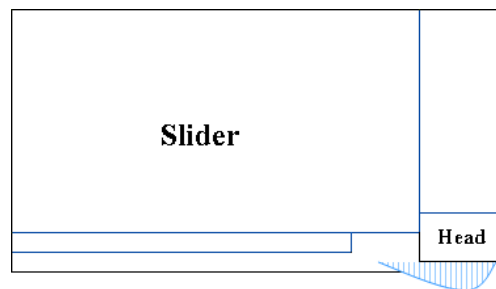
ภาพประกอบ 3-3 ภาพรวมของระบบที่ใช้ทดสอบ

3.4 การทดสอบระยะ FH ของหัวฮาร์ดดิสก์

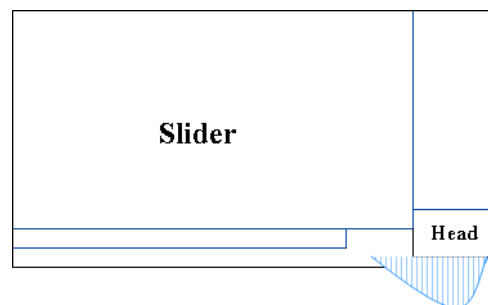
ในการทดสอบหาระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพื่อดูความสูงในแต่ละระยะการบินที่ตำแหน่งต่างๆของดิสก์โดยใช้เทคโนโลยีของ thermal fly-height control ในการวัดระยะ FH ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีการใช้วิธีการหาค่าพลังงานที่ป้อนให้หัวอ่าน-เขียนสัมผัสกับดิสก์โดยเรียกค่าพลังงานนี้ว่า TDP ค่าพลังงานนี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณเป็นระยะ FH

3.4.1 วิธีการทดสอบ

1. กำหนดจุดทดสอบที่วงใน, วงนอก, กึ่งกลาง, ระยะกึ่งกลางจากระยะกึ่งกลางมายังวงนอกและระยะกึ่งกลางจากระยะกึ่งกลางมายังวงใน ซึ่งกำหนดเป็นหมายเลข cylinder โดยประมาณได้ดังนี้ -500(วงนอก), 42500, 85000(กึ่งกลาง), 127500, 152031 (วงใน) โดยทดสอบหัวฮาร์ดดิสก์ทั้งหมด 8 หัวจากโมเดลรุ่นเดียวกันทั้งหมดซึ่งอยู่ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สองตัว
2. เริ่มให้ความร้อนจาก 0mW จนกระทั่งซอฟต์แวร์ตรวจจับการสัมผัสกับดิสก์ โดยการให้ความร้อนแก่หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์หัวอ่าน-เขียนจะเริ่มขยายตัวตามภาพประกอบ3-2 เมื่อหัวอ่านได้รับความร้อนมากขึ้นจากชุดขดลวดความร้อนจะเริ่มขยายตัวตามกำลังที่ป้อนให้กับหัวฮาร์ดดิสก์จนกระทั่งหัวอ่านใกล้สัมผัสกับดิสก์จึงได้ค่า TDP
3. บันทึกค่าในแต่ละครั้งของการวัด



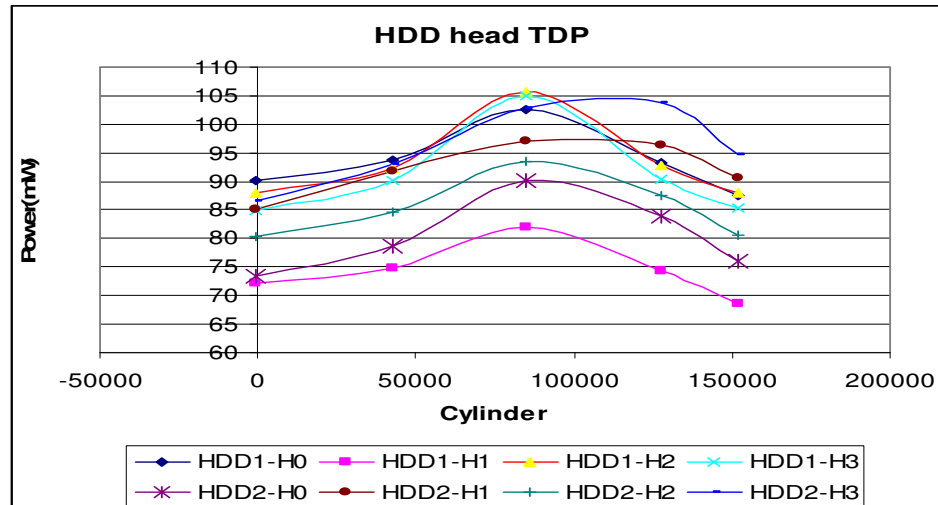
ภาพประกอบ3-4 เริ่มให้ความร้อนที่หัวอ่าน-เขียน



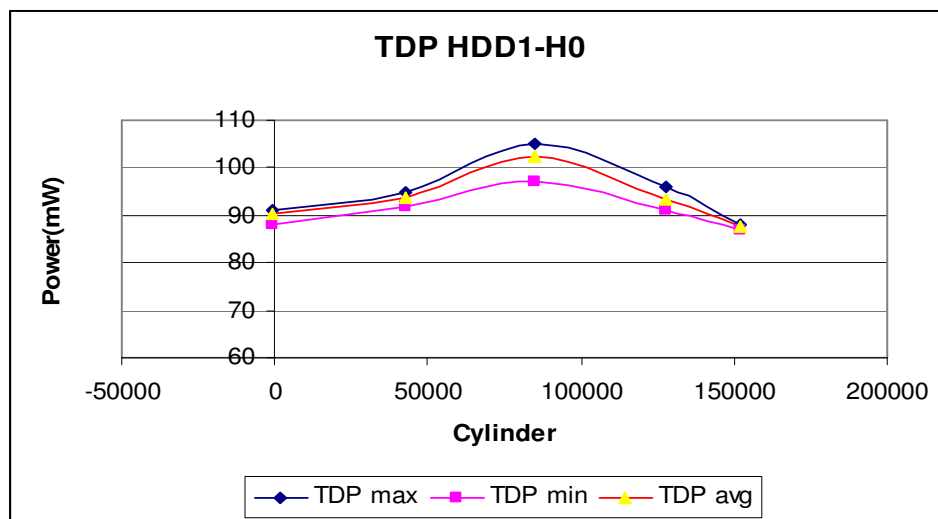
ภาพประกอบ3-5 หัวอ่าน-เขียนขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น

3.4.2 ผลการทดสอบ FH

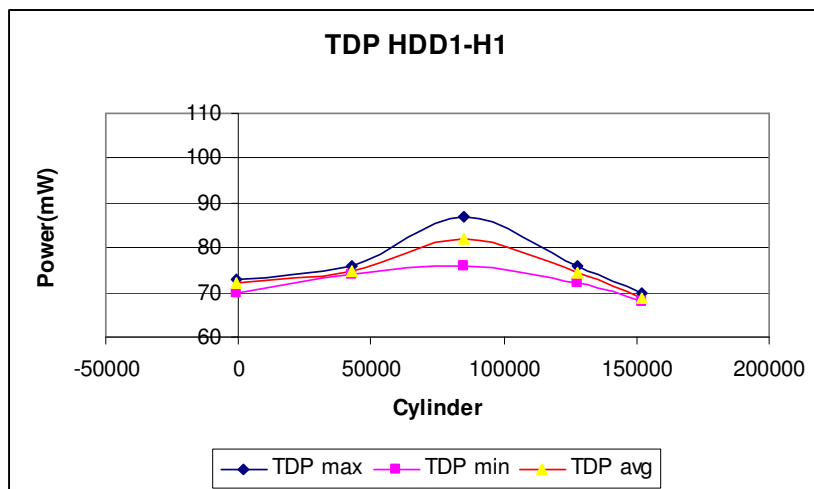
ผลการทดสอบการหาระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนเพื่อที่จะได้ทราบระยะของ FH ที่แต่ละตำแหน่งของดิสก์โดยผลของการทดสอบแสดงให้เห็นตามภาพประกอบ 3-6 ถึง ภาพประกอบ 3-14



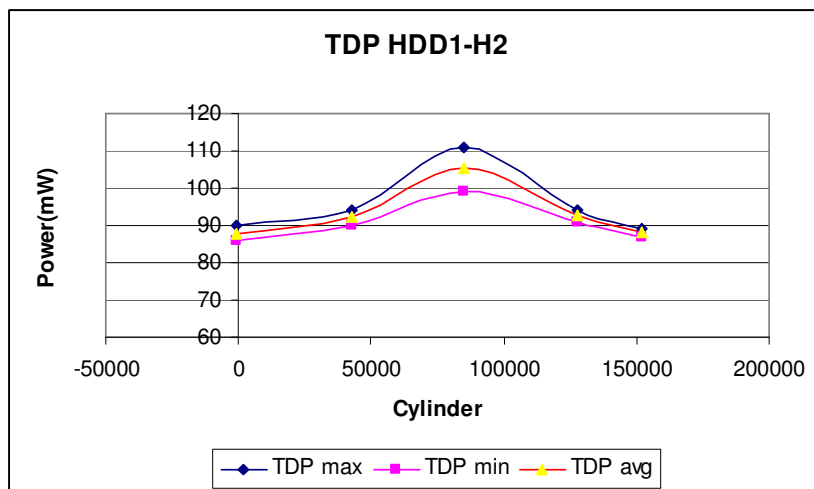
ภาพประกอบ 3-6 กำลังงานที่ทำให้หัวอ่าน-เขียนสัมผัสดิสก์



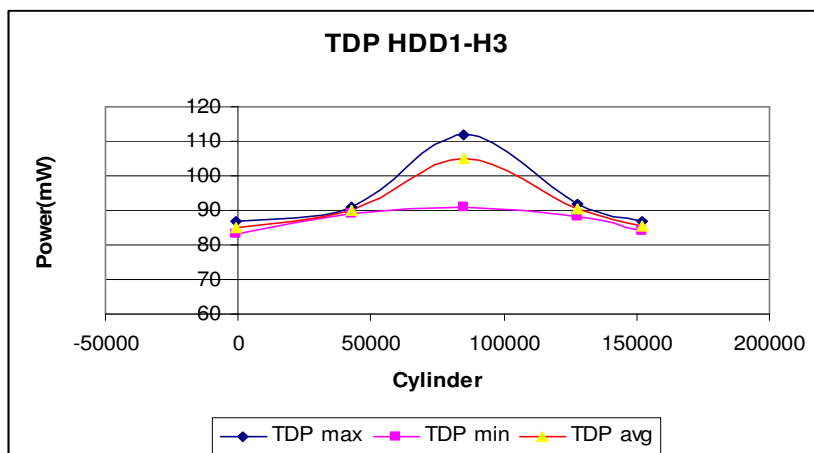
ภาพประกอบ 3-7 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H0 สัมผัสดิสก์



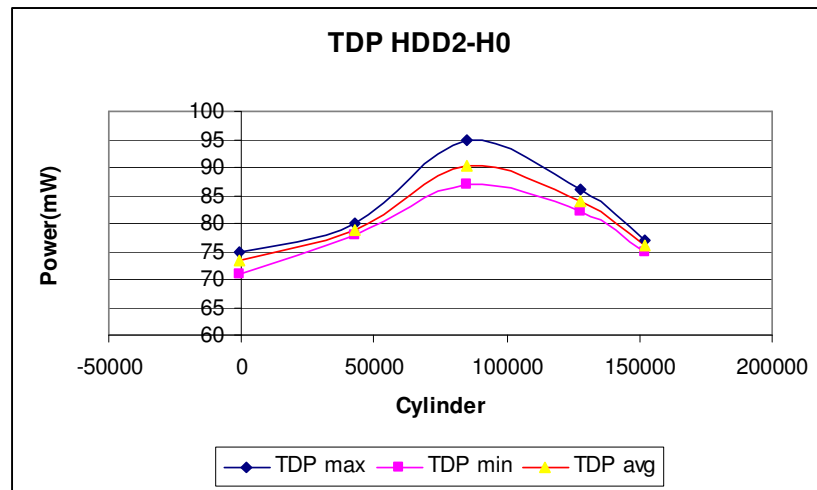
ภาพประกอบ 3-8 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H1 สัมผัสดิสก์



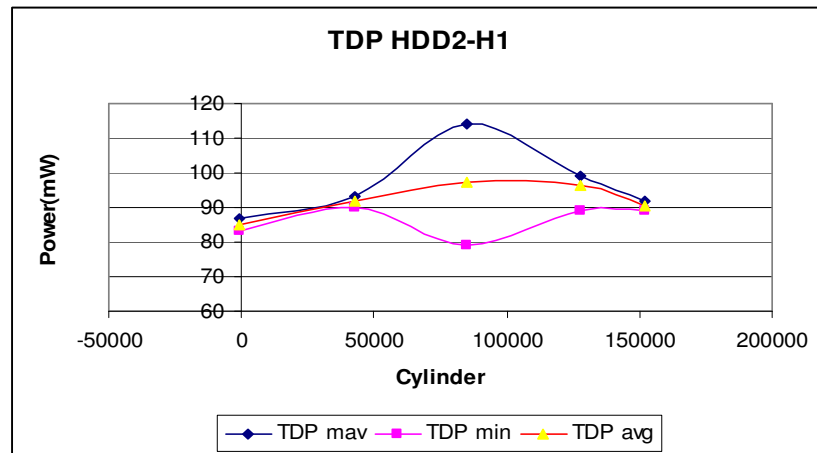
ภาพประกอบ 3-9 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H2 สัมผัสดิสก์



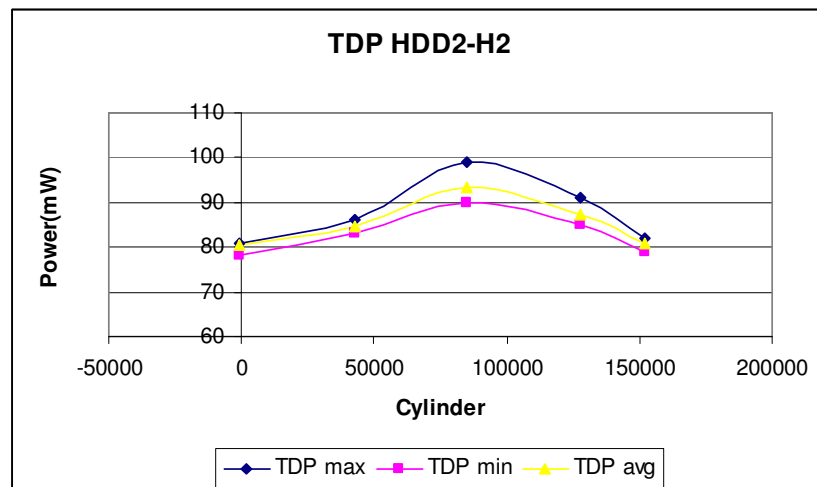
ภาพประกอบ 3-10 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD1-H3 สัมผัสดิสก์



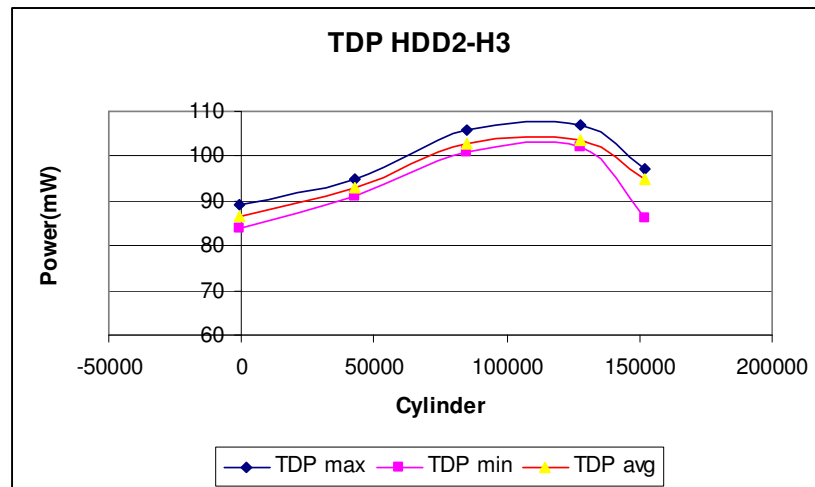
ภาพประกอบ 3-11 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H0 สัมผัสติสก์



ภาพประกอบ 3-12 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H1 สัมผัสติสก์



ภาพประกอบ 3-13 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H2 สัมผัสติสก์



ภาพประกอบ 3-14 กำลังงานสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยจากการวัดที่ HDD2-H3 สัมผัสดิสก์

ผลจากการทดสอบระยะ FH ของหัวอ่าน-เขียนที่ผลิตมาจากรุ่นเดียวกันเมื่อทดสอบด้วยเทคโนโลยี TFC เพื่อหาระยะ FH นั้นได้ผลการทดลองที่มีความแตกต่างกันของระยะ FH อยู่ในระดับหนึ่งถึงแม้ว่าหน้า ABS จะเป็นแบบเดียวกันเมื่อนำมาประกอบเป็นหัวอ่าน-เขียนที่ติดอยู่กับ suspension แล้วระยะการบินของแต่ละหัวอ่าน-เขียนนั้นแตกต่างกันดังจะเห็นได้จากภาพประกอบ 3-6 และที่เห็นได้ชัดเจนอีกอย่างหนึ่งคือการวัดด้วย TFC นั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดด้วย TFC ยังมีค่าความแปรปรวนค่อนข้างสูงดังนั้นการกำหนดระยะจาก TFC นี้ประสิทธิภาพที่ได้ อาจไม่สูงมากนัก ซึ่งเห็นได้จากความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้ที่บริเวณกึ่งกลางของดิสก์ แต่ประเด็นหลักของการใช้ TFC ในงานวิจัยนี้เพียงต้องการเพิ่มระยะ FH ให้เข้าใกล้ดิสก์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆแล้วดูความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนว่าจะสามารถควบคุมให้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมได้ดีเพียงใดและหากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเกี่ยวกับตัวแปรเหล่านี้จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปใช้พัฒนาเป็นระเบียบวิธีที่ควบคุมระยะ FH ได้หรือไม่

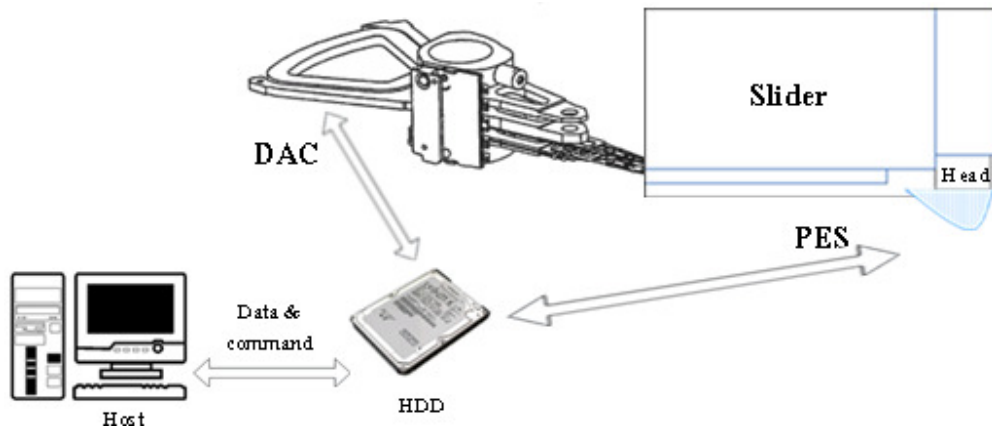
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการรักษาตำแหน่งให้หัวอ่าน-เขียนที่ได้ศึกษาจากบทที่ 2 นั้นคือ SER, DAC และ PES ซึ่งการทดสอบต่อไปคือการให้ความร้อนไปที่หัวอ่าน-เขียนๆเพื่อลดระยะ FH แล้วดูความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้นกับตัวแปรเหล่านี้

3.5 การทดสอบ PES และ DAC

การทดสอบ PES และ DAC values นั้นเป็นการทดสอบเพื่อดูความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อทำให้หัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์เพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยใช้การให้ความร้อนจนกระทั่งมีการขยายตัวของหัวอ่าน-เขียน หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะ FH โดยการทดสอบนี้จะทำการทดสอบควบคู่กันไปทั้งสองการทดสอบเนื่องจาก PES และ DAC สามารถวัดค่าการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์การทดสอบได้พร้อมๆกัน การวัดด้วยซอฟต์แวร์ทดสอบนี้จะเป็นการวัดเมื่อมีการเพิ่มกำลังงานทุกๆ 1mW จะมีการบันทึกหนึ่งครั้ง

3.5.1 วิธีการทดสอบ

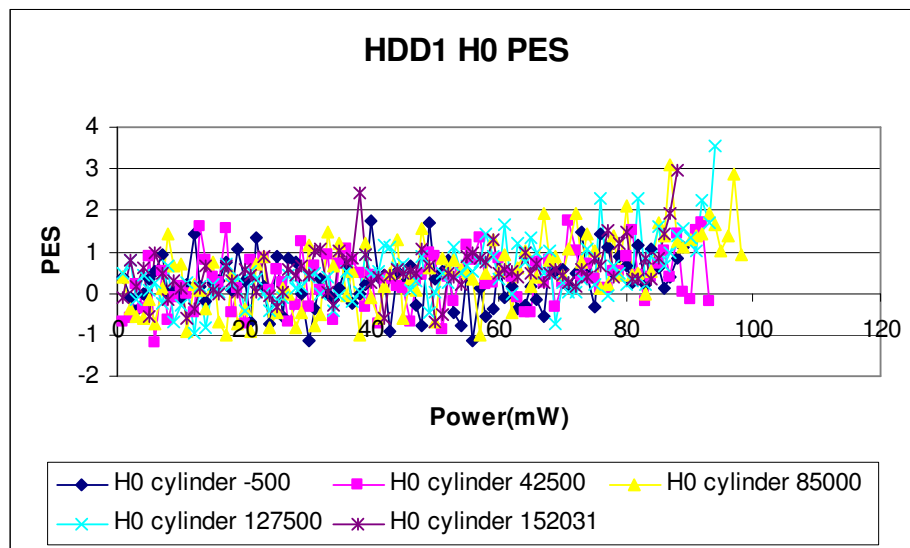
1. กำหนดจุดทดสอบที่วงใน, วงนอก, กึ่งกลาง, ระยะกึ่งกลางจากระยะกึ่งกลางมายังวงนอกและระยะกึ่งกลางจากระยะกึ่งกลางมายังวงใน ซึ่งกำหนดเป็นหมายเลข cylinder โดยประมาณได้ดังนี้ -500(วงนอก), 42500, 85000(กึ่งกลาง), 127500, 152031 (วงใน) โดยทดสอบหัวฮาร์ดดิสก์ทั้งหมด 8 หัวจากโมเดลรุ่นเดียวกันทั้งหมดซึ่งอยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สองตัว
2. เริ่มให้ความร้อนที่หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยแต่ละขั้นของการเพิ่มความร้อน (1mW) จะบันทึกค่า PES และ DAC ดังภาพประกอบ 3-15 การบันทึกผลการทดสอบนี้จะกระทำไปจนกระทั่งซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบตรวจพบพบการสัมผัสกันของหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์
3. ผลของการบันทึกค่าจะถูกเก็บไว้ใน log file เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้น



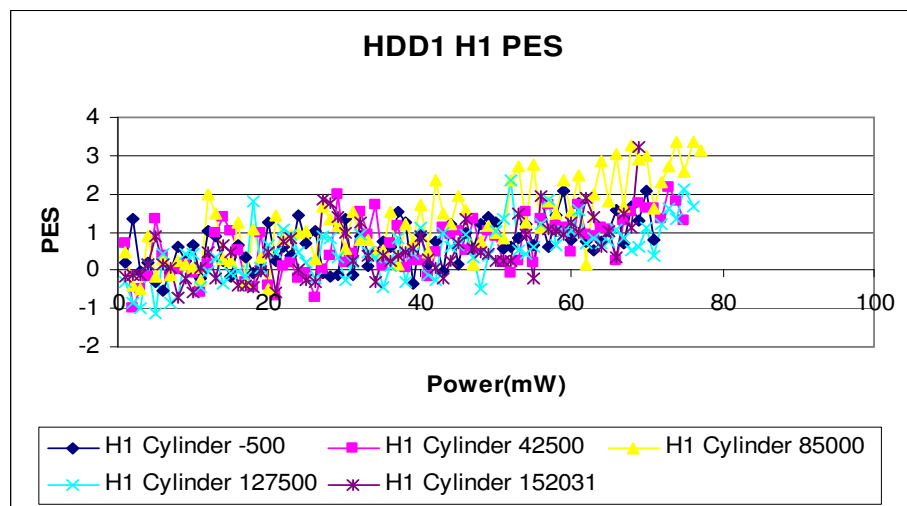
ภาพประกอบ 3-15 ระบบที่ทดสอบ PES และ DAC

3.5.2 ผลการทดสอบ PES

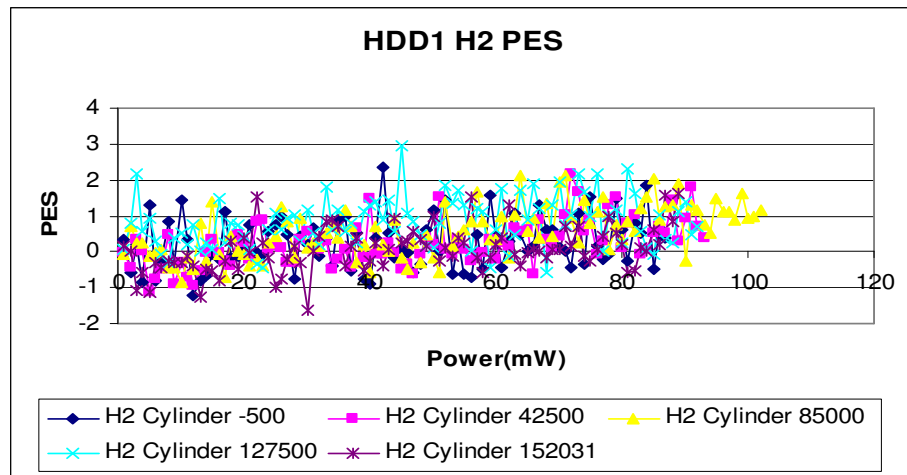
ผลการทดสอบ PES ซึ่งก็คือค่าที่ระบุตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนจากกึ่งกลางของแทร็ค ซึ่งหากหัวอ่าน-เขียนอยู่ตรงกึ่งกลางพอดีค่า PES จะเท่ากับศูนย์หากเบี่ยงซ้ายหรือขวา ค่า PES จะแสดงค่าเป็นบวกหรือลบดังภาพประกอบ 3-16 - 3-23 โดยผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าเมื่อระยะ FH เข้าใกล้ขีดจำกัดมากขึ้นการรักษาตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนเริ่มทำได้ยากมากขึ้นสังเกตได้จาก PES เคลื่อนที่เบี่ยงซ้ายหรือขวาไปเรื่อยๆ



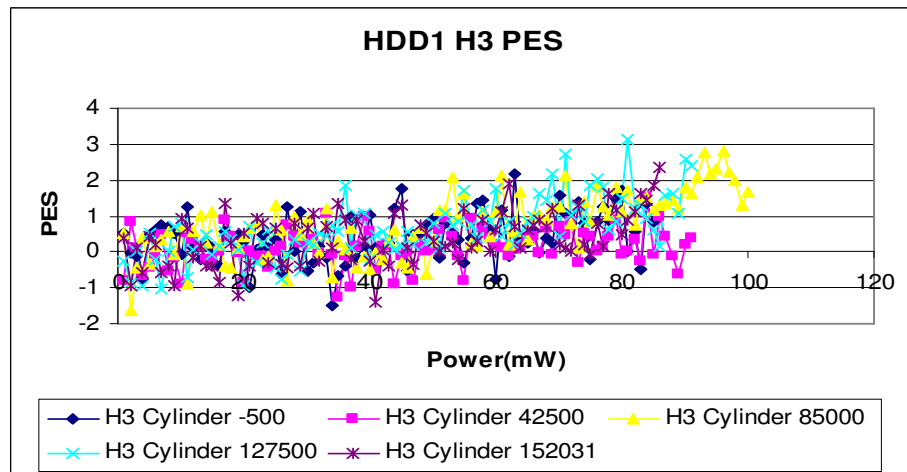
ภาพประกอบ 3-16 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



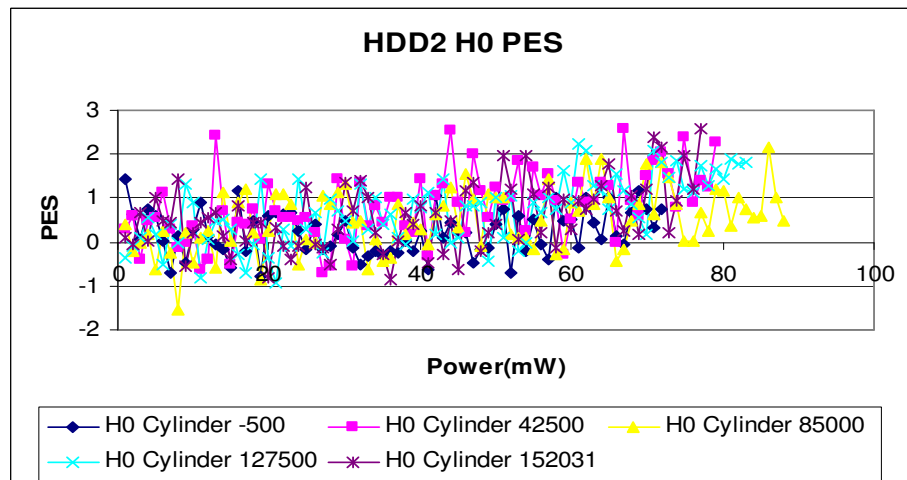
ภาพประกอบ 3-17 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



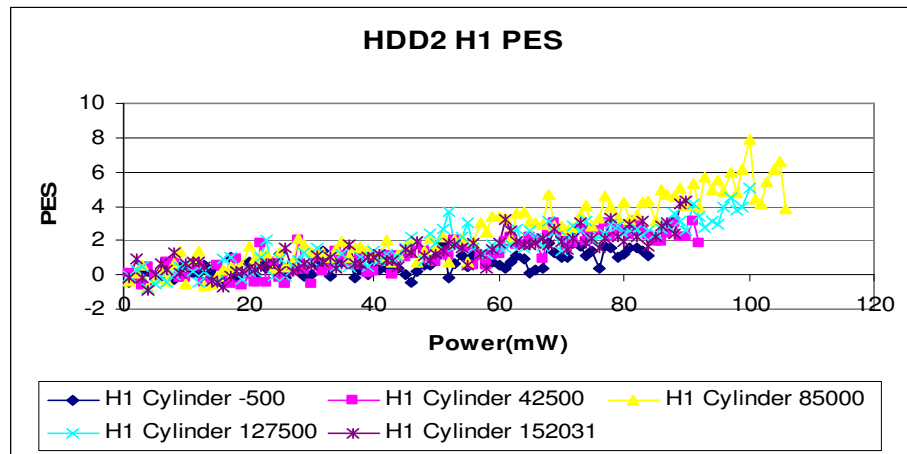
ภาพประกอบ 3-18 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



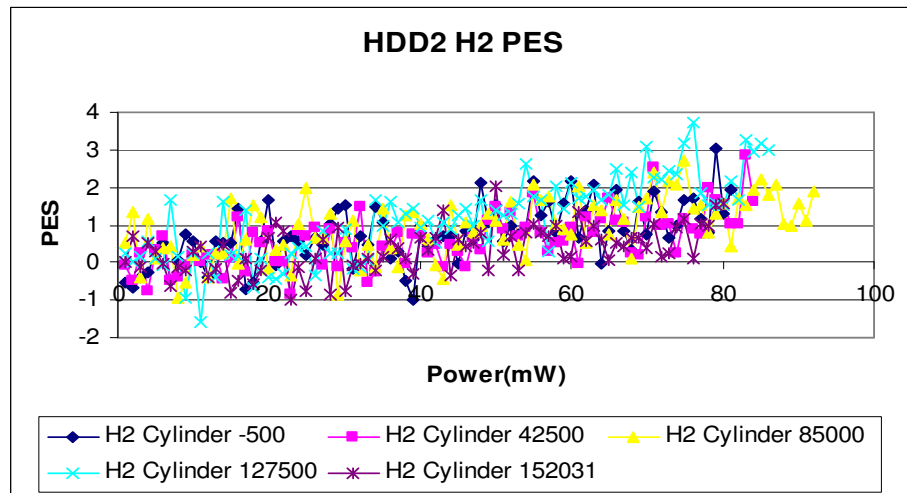
ภาพประกอบ 3-19 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD1 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



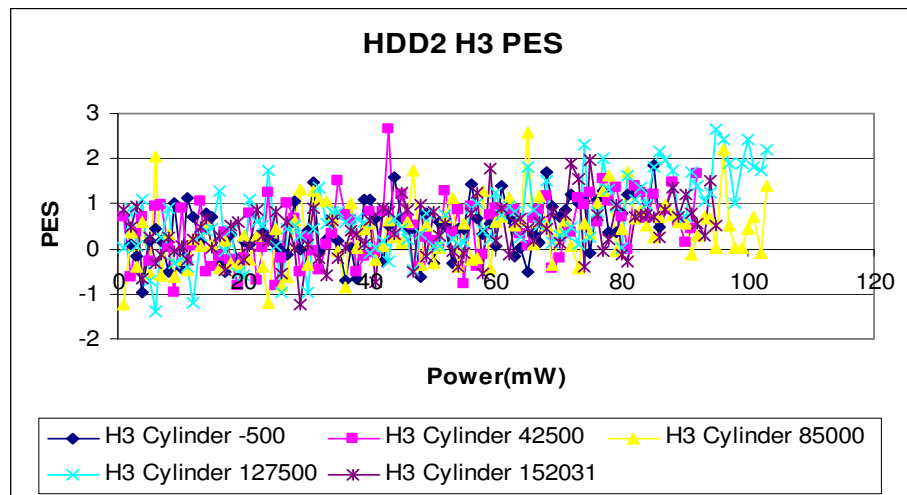
ภาพประกอบ 3-20 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



ภาพประกอบ 3-21 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



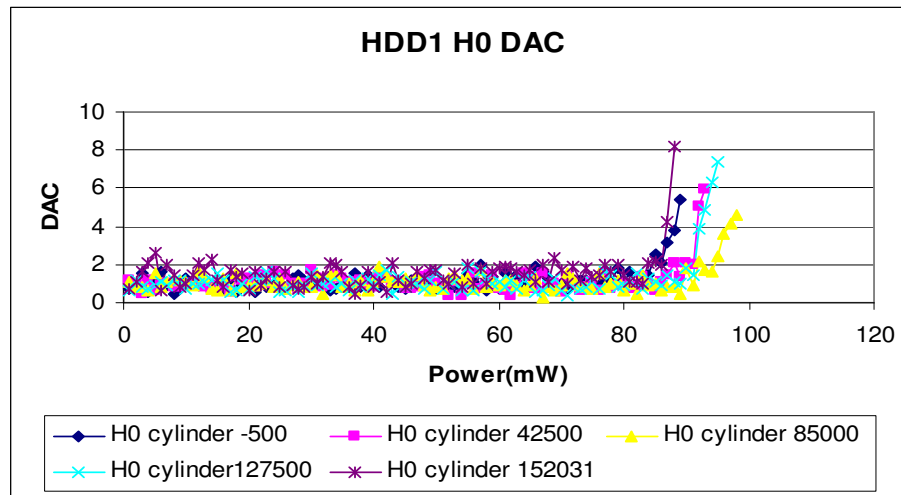
ภาพประกอบ 3-22 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



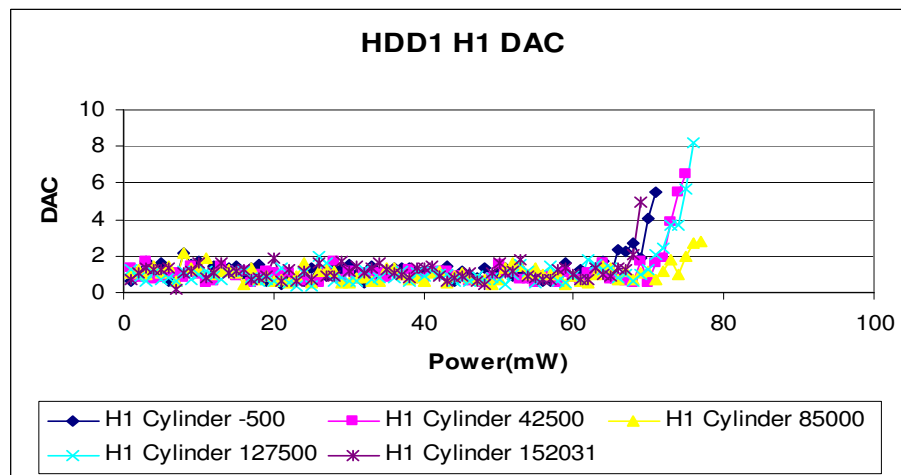
ภาพประกอบ 3-23 ค่าเฉลี่ย PES ของ HDD2 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน

3.5.2 ผลการทดสอบ DAC

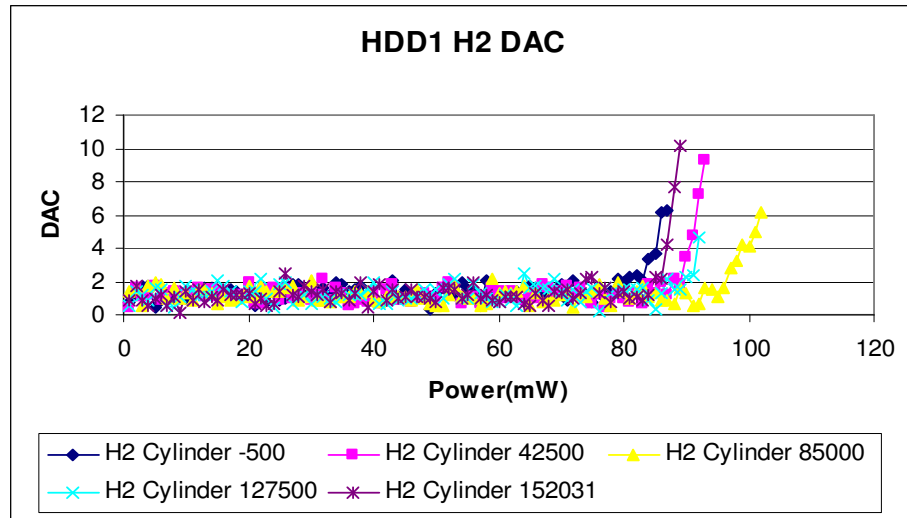
ผลการทดสอบ DAC ซึ่งก็คือค่า digital to analog converter ที่ใช้สำหรับการควบคุม voice coil motor เพื่อให้หัวอ่าน-เขียนอยู่กึ่งกลางของแทร็ค โดยใช้ค่าของ PES เป็นตัวระบุตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพประกอบ 3-24 - 3-31



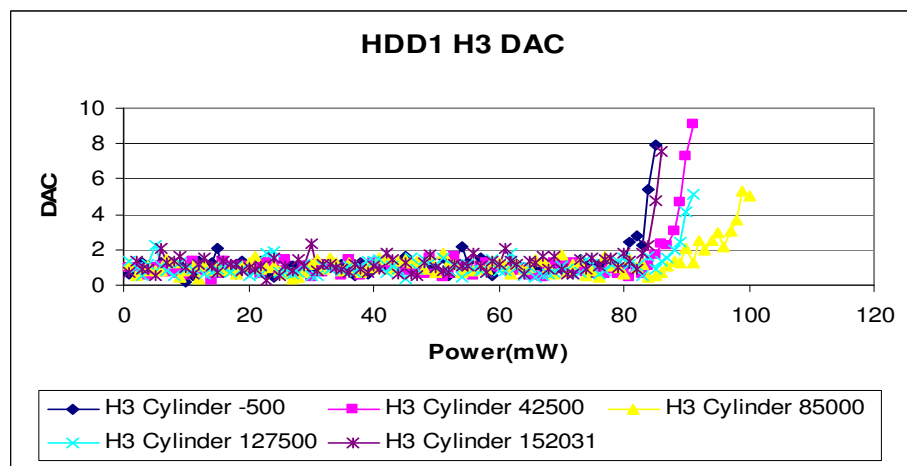
ภาพประกอบ 3-24 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



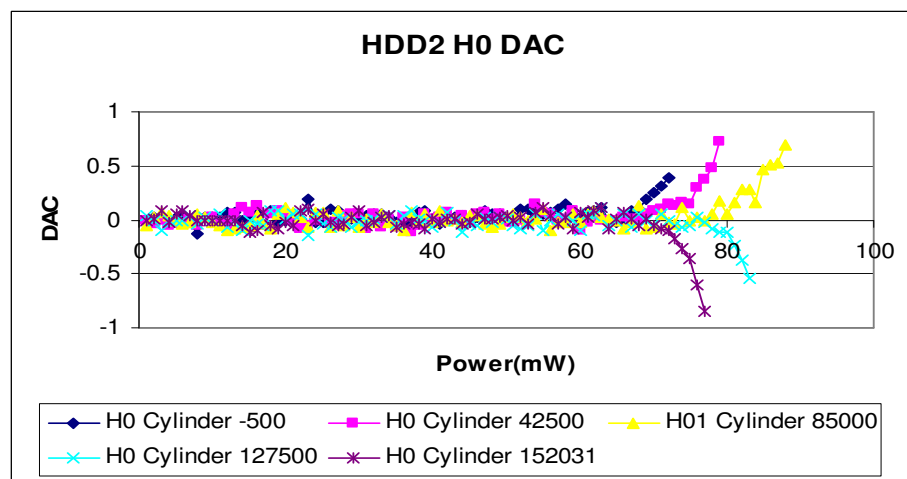
ภาพประกอบ 3-25 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



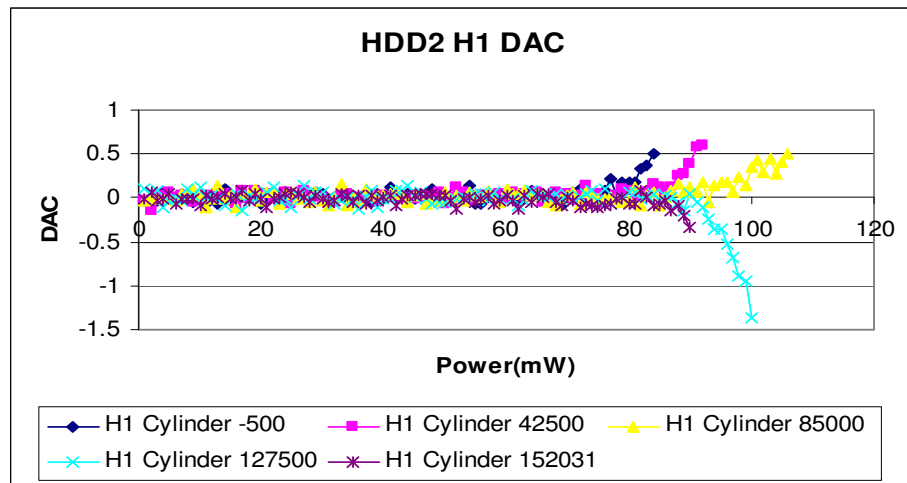
ภาพประกอบ 3-26 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



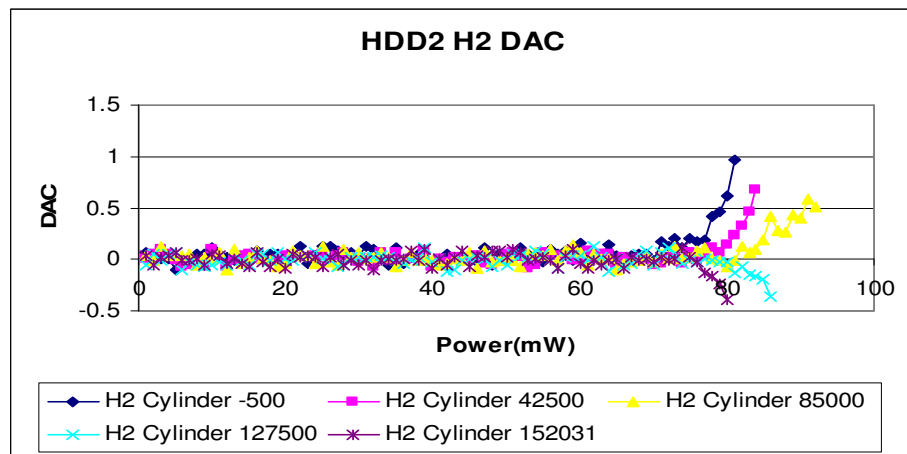
ภาพประกอบ 3-27 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD1 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



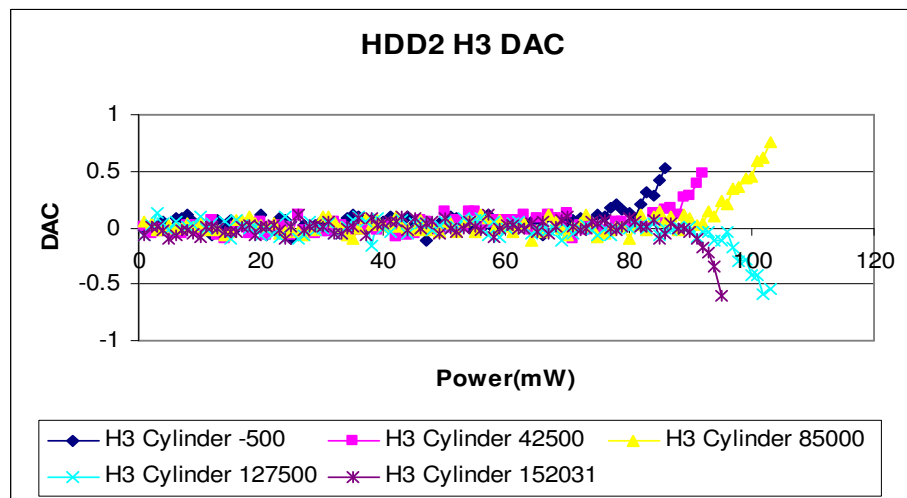
ภาพประกอบ 3-28 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H0 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



ภาพประกอบ 3-29 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H1 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



ภาพประกอบ 3-30 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H2 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน



ภาพประกอบ 3-31 ค่าเฉลี่ย DAC ของ HDD2 H3 เมื่อ FH เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน

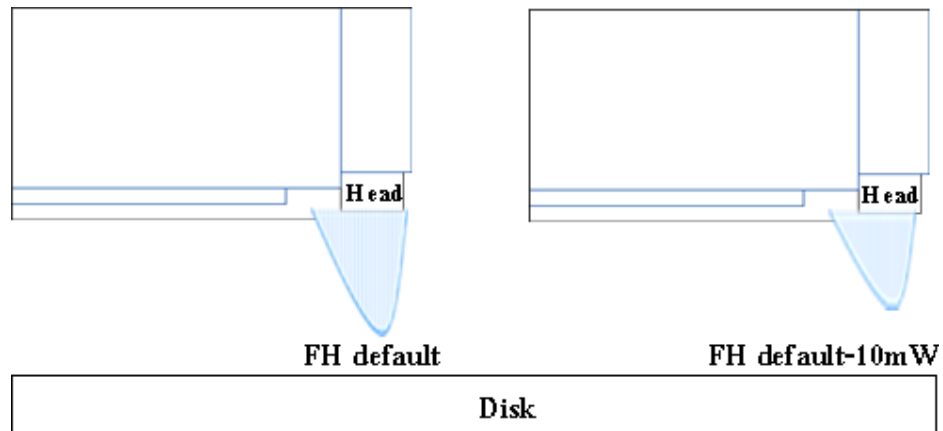
ผลจากการทดสอบค่า PES และค่า DAC ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของหัวอ่าน-เขียนในการรักษาตำแหน่งหรือระบุตำแหน่ง โดยการทดสอบแสดงผลการทดสอบค่า PES ดังภาพประกอบ 3-16 ถึง 3-23 และผลการทดสอบค่า DAC ดังภาพประกอบ 3-24 ถึง 3-31 ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าเมื่อหัวอ่าน-เขียนถูกให้ความร้อนจากเทคโนโลยี thermal fly-height control จนหัวอ่าน-เขียนขยายตัวทำให้ระยะ FH น้อยลงจนกระทั่งเข้าใกล้ดิสก์ การเปลี่ยนแปลงของค่า PES และ DAC จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเบี่ยงเบนจากค่ากลาง แต่จากการทดสอบจากหัวอ่าน-เขียนดังภาพประกอบ 3-24 ถึง 3-31 ผลการทดลองแสดงให้เห็นค่า DAC จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนมากกว่าค่า PES และจากผลการทดลองทั้งหมดของค่า DAC นั้นผลการทดลองที่ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของทุกหัวอ่าน-เขียนมีการเปลี่ยนแปลงค่า DAC อย่างเห็นได้ชัดเจนทุกตัวหรือ 100% นั่นเอง

3.6 การทดสอบ SER

SER เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการอ่านและการเขียนข้อมูล โดยเมื่อเขียนข้อมูลลงแผ่นดิสก์และอ่านข้อมูลกลับมามีโอกาสของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ในกระบวนการเขียนหรืออ่าน โดยตามหลักการทั่วไปแล้วหากระยะของ FH อยู่ในระดับสูงค่า SER ที่ได้ย่อมมีค่าต่ำกว่าค่า SER ของ FH ที่มีระดับต่ำเข้าใกล้ดิสก์ เพราะเมื่อหัวอ่าน-เขียนอยู่ในระดับต่ำแล้ว signal to noise ratio ย่อมดีกว่าเมื่อหัวอ่าน-เขียนอยู่สูง ดังนั้นการทดสอบครั้งนี้เพื่อดูความสัมพันธ์ของ SER ที่มีต่อระยะ FH ตามหลักการเบื้องต้นหรือไม่

3.6.1 วิธีการทดสอบ

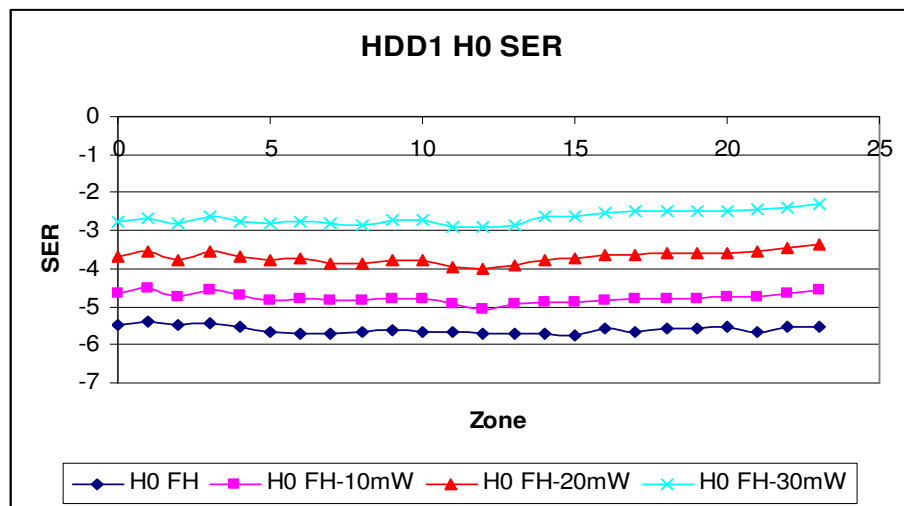
1. กำหนดจุดทดสอบที่ทุกโซนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทดสอบนั้นถูกแบ่งโซนไว้ทั้งหมด 24 โซนเริ่มต้นตั้งแต่โซน 0-23 ซึ่งโซน 0 อยู่ที่วงนอกสุดของดิสก์และโซน 24 อยู่วงในสุดของดิสก์
2. การกำหนดระยะ FH จะกำหนดค่าการทดสอบครั้งแรกเป็นค่าที่โรงงานกำหนดไว้ หลังจากนั้นจึงลด FH ลงครั้งละ 10mW ทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งจะได้ค่า FH เป็นดังนี้ FH(default), FH(default)-10mW, FH(default)-20mW, FH(default)-30mW ดังภาพประกอบ 3-32
3. ผลของการบันทึกค่าจะถูกเก็บไว้ใน log file เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้น



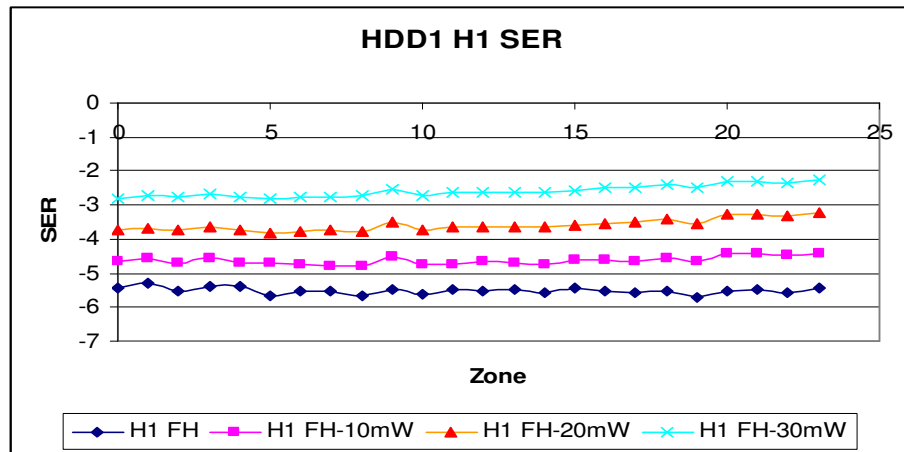
ภาพประกอบ 3-32 การลดระยะ FH ด้วยการลดกำลังงานที่ให้แก่อ่าน-เขียน

3.6.2 ผลการทดสอบ SER

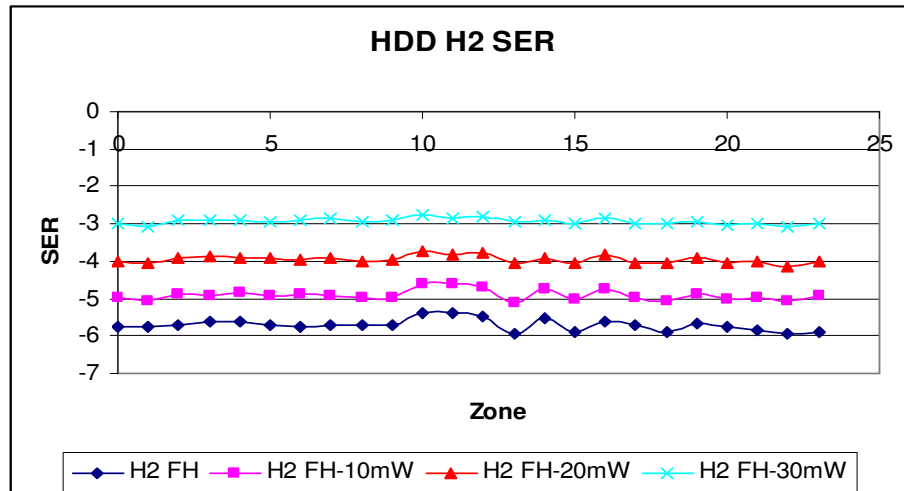
ผลการทดสอบ SER ในแต่ละโซนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงดังภาพประกอบ 3-31 ถึง 3-37 โดยภาพประกอบ 3-33 ถึงภาพประกอบ 3-36 แสดงผลในส่วนของค่า SER ทุกโซนของดิสก์ในแต่ละระดับของระยะ FH ส่วนภาพประกอบ 3-37 ถึง 3-39 เป็นการแสดงรายละเอียดในบางโซนของดิสก์เพื่อสามารถดูผลการทดสอบได้ละเอียดยิ่งขึ้น



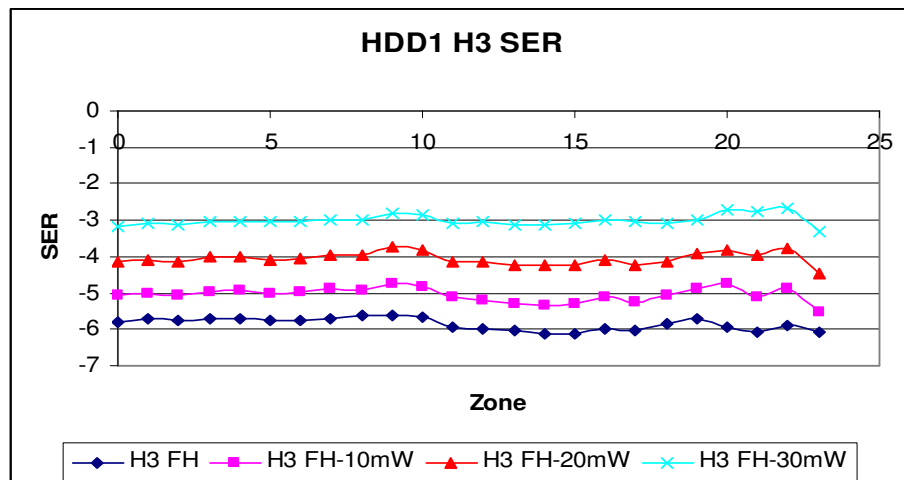
ภาพประกอบ 3-33 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H0



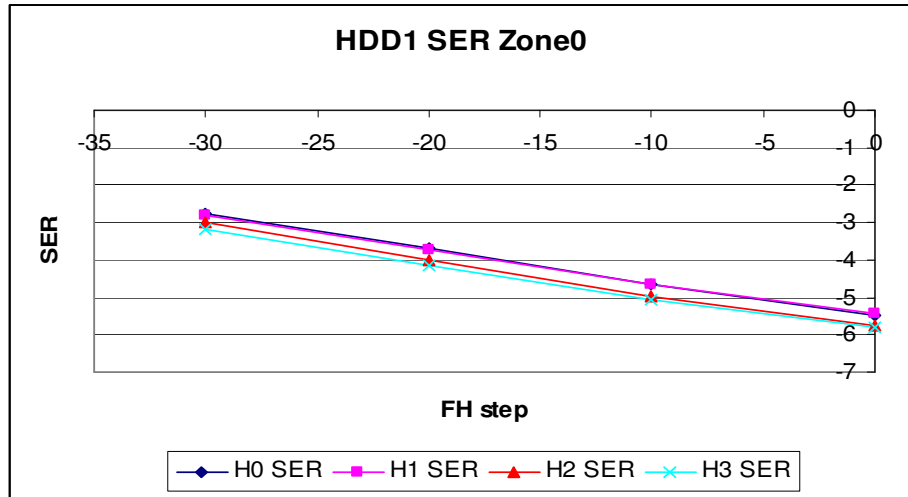
ภาพประกอบ 3-34 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H1



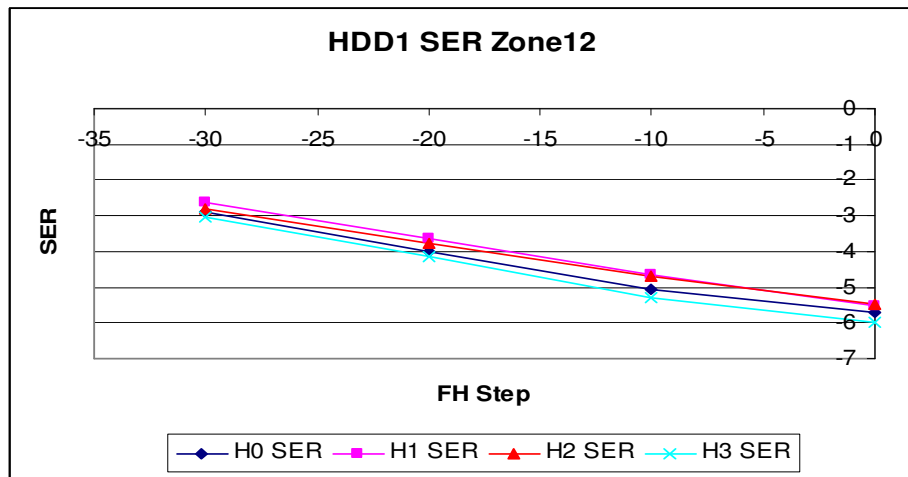
ภาพประกอบ 3-35 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H2



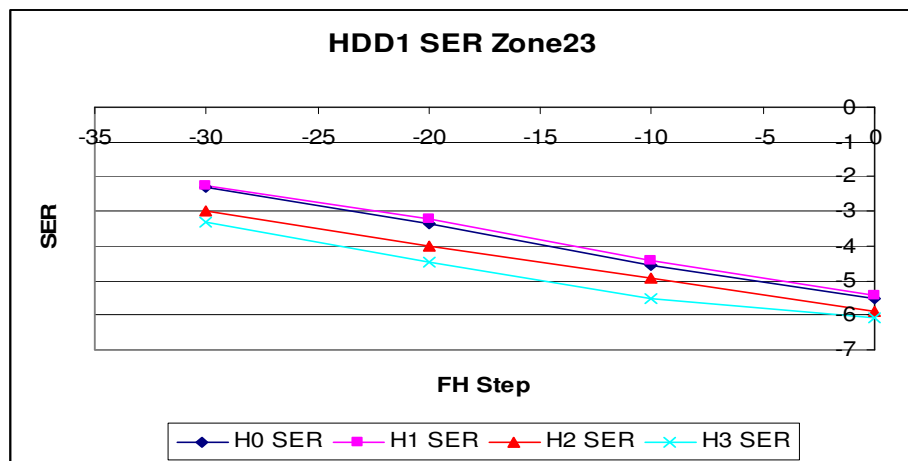
ภาพประกอบ 3-36 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ H3



ภาพประกอบ 3-37 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ Zone0



ภาพประกอบ 3-38 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ Zone12



ภาพประกอบ 3-39 ผลการเพิ่มระยะ FH ที่ Zone23

ผลการทดสอบ SER เพื่อดูความสัมพันธ์การเปลี่ยนของระยะ FH ต่อค่า SER แสดงให้เห็นจากการทดสอบว่าระยะ FH จะส่งผลต่อค่า SER อย่างเห็นได้ชัดเจนในทุกโซนของดิสก์โดยเมื่อเพิ่มความสูงของระยะ FH ซึ่งก็คือทำให้ระยะระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า SER แย่ลงเนื่องจากเมื่อหัวอ่าน-เขียนอยู่ห่างจากดิสก์เรื่อยๆจะให้ signal to noise ratio ต่ำ ซึ่งลงจะส่งผลต่อค่า SER เนื่องจากเมื่อ signal to noise ratio ต่ำจะทำให้การอ่านเขียนข้อมูลมีโอกาสผิดพลาดสูง

เมื่อพิจารณาภาพประกอบ 3-37 ถึง 3-39 ซึ่งเป็นภาพประกอบที่แสดงรายละเอียดของค่า SER ในโซน 0, 12, และ 23 เห็นความสัมพันธ์ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า SER ในแต่ละโซนเป็นไปในแนวเชิงเส้นในทุกโซนและทุกหัวอ่าน-เขียนที่ใช้ทดสอบดังนั้นหากระยะระหว่างหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์ใกล้กันมากเท่าไรย่อมส่งผลดีต่อค่า SER เพิ่มขึ้นด้วย

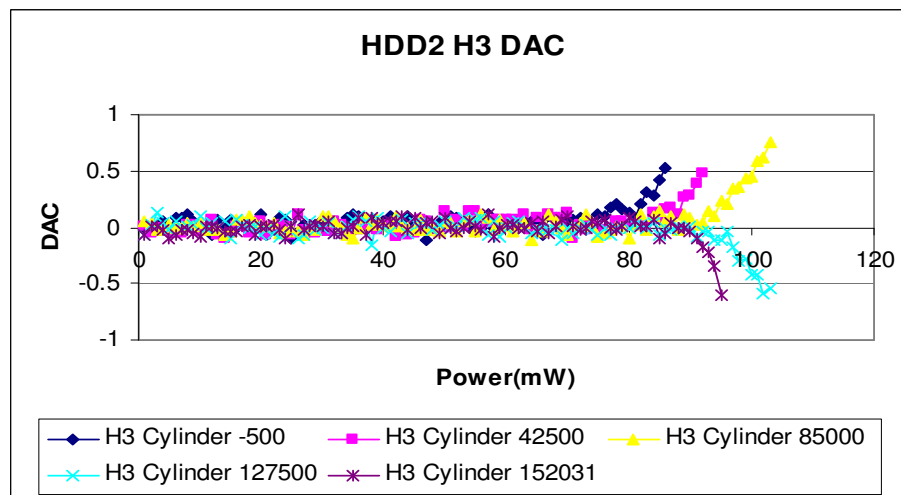
บทที่ 4

การออกแบบระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล

หลักจากที่ได้ศึกษาและทดสอบความสัมพันธ์เกี่ยวกับพารามิเตอร์ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เปลี่ยนแปลงเกี่ยวเนื่องกับระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนทำให้ได้ข้อมูลความสัมพันธ์มาเป็นแนวทางในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อให้ได้ระยะที่ดีที่เหมาะสมต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

4.1 ความเกี่ยวเนื่องของตัวแปรภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากผลการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งและการควบคุมหัวอ่าน-เขียนในบทที่ 3 ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียนเมื่อเข้าใกล้ดิสก์อย่างเห็นได้ชัดเจนคือค่า DAC เห็นได้จากค่า DAC จะเคลื่อนที่ออกจากค่าเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆทั้งในด้านบวกและด้านลบและในอีกกรณีหนึ่งก็คือค่าสูงสุด (peak) ของ DAC จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์เช่นกันดังตัวอย่างภาพประกอบ 4-1 ที่เป็นค่าพารามิเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่สองหัวที่สามที่ใช้ทดสอบ

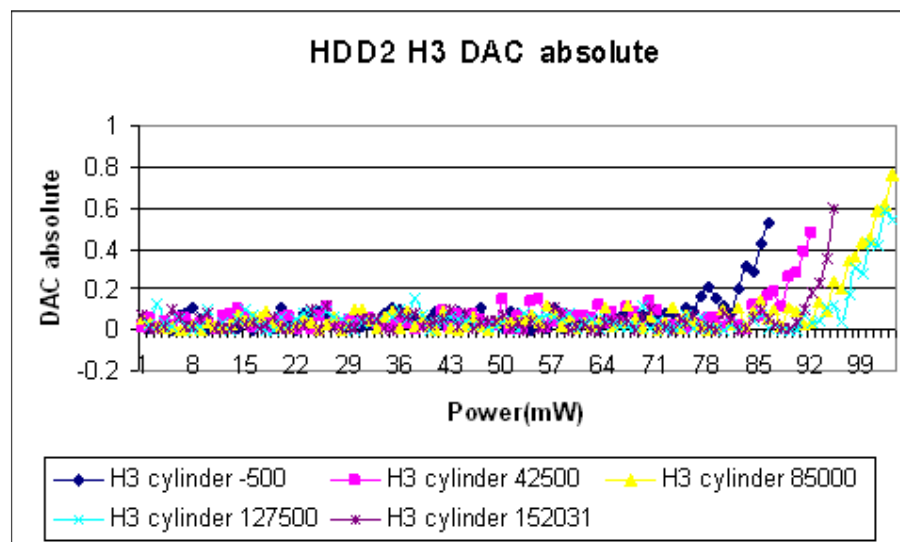


ภาพประกอบ 4-1 ตัวอย่างค่า DAC ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่ 2 หัวที่ 3

4.2 ข้อพิจารณาการเลือกใช้พารามิเตอร์

จากผลการทดสอบในบทที่สามซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าค่า DAC มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนมากกว่าค่า PES ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า DAC เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบอัลกอริทึม

ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า DAC จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านค่าบวกและด้านลบแสดงดังภาพประกอบที่ 4-1 ดังนั้นเพื่อสะดวกในการคำนวณและเพื่อความยืดหยุ่นของอัลกอริทึมจึงนำค่า DAC มาหาค่าสัมบูรณ์ซึ่งจะทำให้ค่า DAC ที่ได้หลังจากการคำนวณจะเคลื่อนที่อยู่ในด้านบวกเสมอดังภาพประกอบ 4-2 ที่แสดงค่าจากการคำนวณมาจากของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่สองหัวที่สาม



ภาพประกอบ 4-2 ตัวอย่างค่าสัมบูรณ์ของ DAC ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่ 2 หัวที่ 3

4.3 ข้อพิจารณาการตรวจจับความผิดปกติของค่า DAC

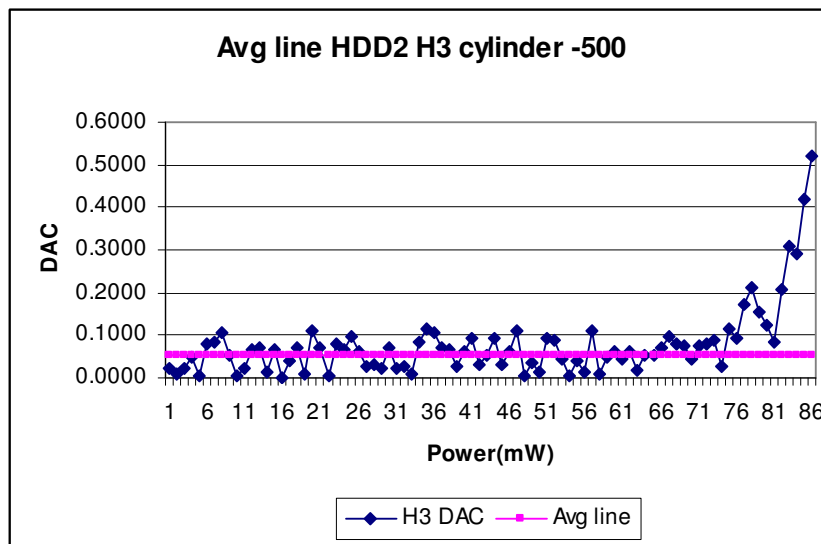
การตรวจจับค่าผิดปกติของ DAC เพื่อจะเป็นตัวบ่งบอกพฤติกรรมที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่าน-เขียนเมื่อเริ่มเข้าใกล้ดิสก์หรือก็คือ FH ต่ำมาก ๆ นั้นเอง ซึ่งการพิจารณาผลนำมาจากการทดสอบจากบทที่ 3 การตรวจจับค่าความผิดปกติของ DAC นั้นจะดูการเปลี่ยนของความแตกต่างค่าสูงสุดของกาววัด โดยค่าสูงสุดถูกรวบรวมมาจากการให้กำลังงานความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งถึง 40mW เพื่อหาค่าสูงสุด

4.4 การคำนวณเส้นค่าเฉลี่ย (Avg line)

เนื่องจากค่า DAC สูงสุดได้รวบรวมมาจากการให้กำลังงานความร้อนจนกระทั่งถึง การให้กำลังงานความร้อนที่ 40mW ดังนั้นค่าทั้งหมดที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณ โดยการหาผลบวก ของค่า DAC ทั้งหมดหารด้วยจำนวนครั้งของการวัดดังสมการ (4.1) จึงได้เป็นเส้นค่าเฉลี่ย ซึ่ง ตัวอย่างค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพประกอบ 4-3 โดยใช้ข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวที่สองหัวที่สาม ตำแหน่ง cylinder ที่ -500

$$Avg_{line} = \frac{\sum_{n=1}^k DAC_n}{k} \quad (4.1)$$

k คือจำนวนครั้งของการวัด

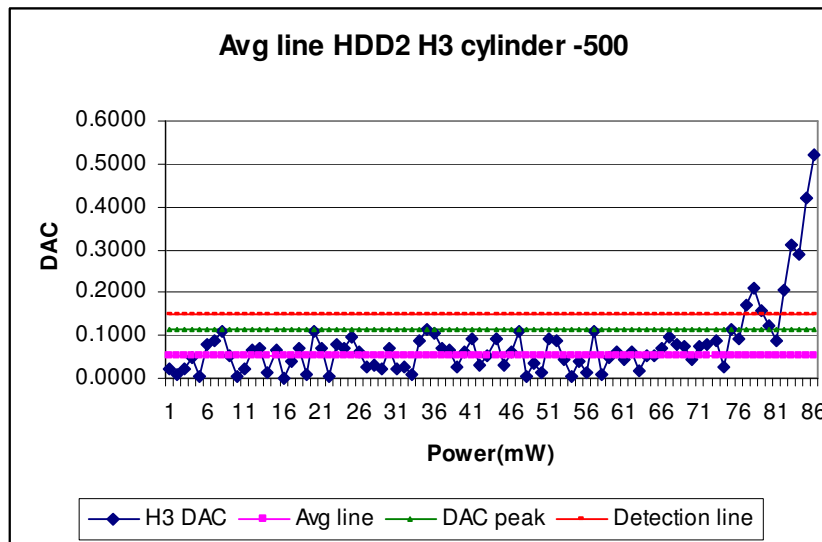


ภาพประกอบ 4-3 เส้นตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ H3

4.5 การคำนวณเส้นตรวจจับความผิดปกติ (Detection line)

เส้นตรวจจับความผิดปกติของค่า DAC ใช้เพื่อกำหนดความผิดปกติของค่า DAC ที่จะเกิดขึ้นเมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์โดยคำนวณจากการหาค่าสูงสุดของค่า DAC จากการเก็บ ตัวอย่างที่ได้มาจากการเริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งกำลังงานที่ให้เป็น 40mW เพื่อใช้ในสมการ (4.2) โดย 1.5 คือค่า error ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่า DAC สูงสุด

$$Dtectionline = ((DAC_{peak} - Avg_{line}) \times 1.5) + Avg_{line} \quad (4.2)$$



ภาพประกอบ 4-4 เส้นตัวอย่าง DAC peak, Avg line, Detection line และเส้นค่าเฉลี่ยของ H3

4.6 เทคนิคการแยกค่า DAC เพื่อใช้คำนวณ

เนื่องจากค่า DAC ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าที่ได้มาจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล ดังนั้นความไวของการตรวจจับการเข้าใกล้ขีดจำกัดของหัวอ่าน-เขียนย่อมน้อยลงตามจำนวนของการนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังนั้นจึงใช้วิธีการนำค่า DAC มาตรวจจับความผิดปกติดังนี้

1. กำหนด window size สำหรับการแยกค่า DAC เพื่อนำมาวิเคราะห์
2. ข้อมูลที่นำเข้ามาใน window size ใช้วิธี FIFO คือข้อมูลที่เข้ามาก่อนจะถูกนำมา

วิเคราะห์ก่อนดังภาพประกอบ 4-5

3. ข้อมูลเมื่อมาอยู่ใน window แล้วจะถูกเรียงข้อมูลจากมากไปหาน้อย

ภาพประกอบ 4-6

4. จากนั้นเอาข้อมูลมาแบ่งกลุ่มสูงสุด ต่ำสุด และกึ่งกลางดังภาพประกอบ 4-7 มาคำนวณหาค่าสัมบูรณ์เพื่อนำมาคำนวณ DAC peak, avg line, detection line

5. เมื่อค่าใดค่าหนึ่งในกลุ่มที่ถูกแยกออกมาแล้วเคลื่อนที่เหนือเส้น detection line จะเป็นการระบุว่าหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ขีดจำกัดมากเกินไป

ข้อมูล FIFO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
DAC	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	5	3
Window1	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	5	3
Window2	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	5	3
Window3	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	5	3
Window4	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	5	3

ภาพประกอบ 4-5 ข้อมูลที่นำเข้ามาใน window size กำหนดความกว้างไว้ที่ 5

Window1	3	2	3	4	5	เรียงข้อมูล	5	4	3	3	2
Window2	2	3	4	5	3	เรียงข้อมูล	5	4	3	3	2
Window3	3	4	5	3	2	เรียงข้อมูล	5	4	3	3	2
Window4	4	5	3	2	1	เรียงข้อมูล	5	4	3	2	1

ภาพประกอบ 4-6 ข้อมูลที่นำเข้ามาใน window size เรียงข้อมูลจากมากไปน้อย

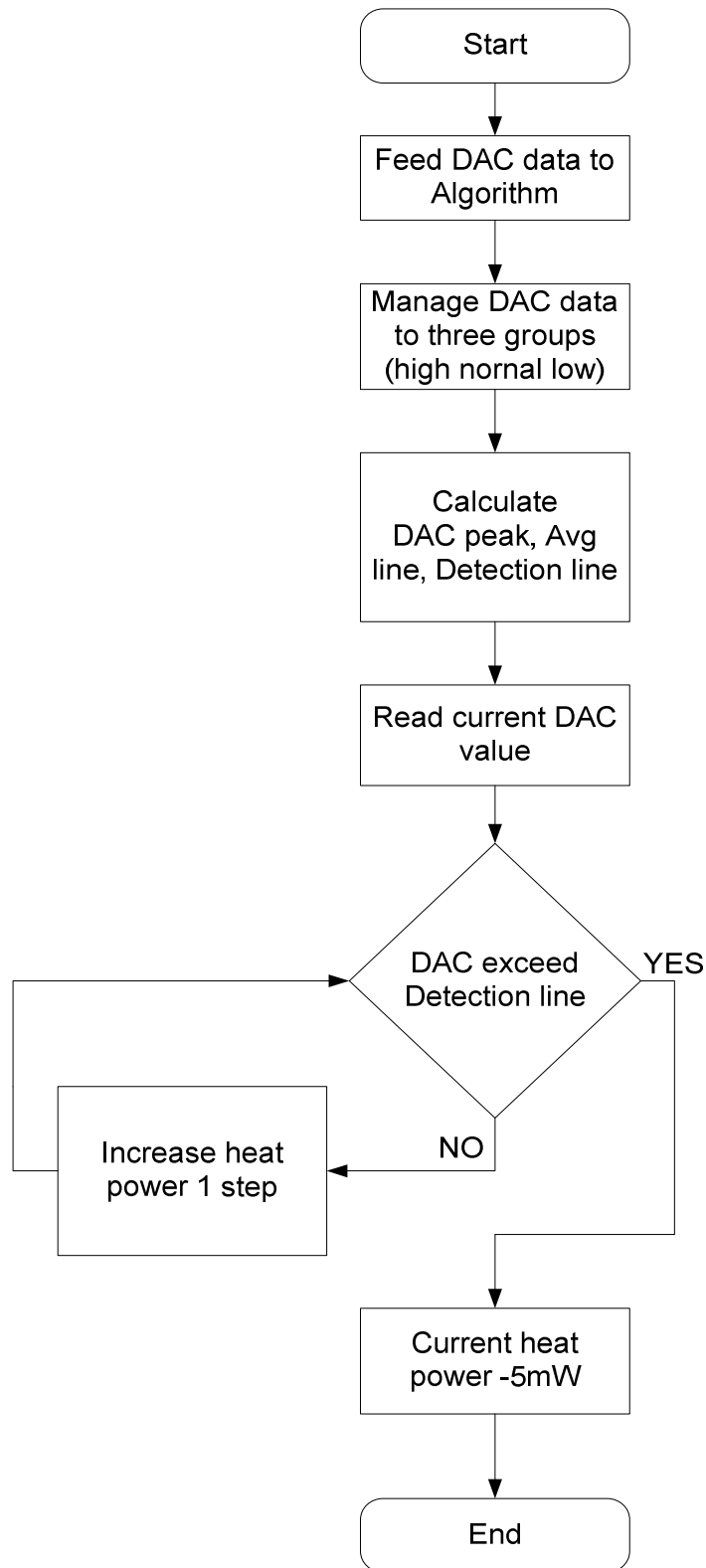
Window1	3	2	3	4	5	เรียงข้อมูล	5	4	3	3	2
Window2	2	3	4	5	3	เรียงข้อมูล	5	4	3	3	2
Window3	3	4	5	3	2	เรียงข้อมูล	5	4	3	3	2
Window4	4	5	3	2	1	เรียงข้อมูล	5	4	3	2	1

Windows	1	2	3	4	...	k
DAC high	5	5	5	5	...	k
DAC normal	3	3	3	3	...	k
DAC low	2	2	2	1	...	k

ภาพประกอบ 4-7 ข้อมูลใน windows ที่ถูกแบ่งแยกกลุ่มเพื่อนำไปคำนวณ

4.7 สรุปการออกแบบระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูล

ขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูลสามารถอธิบายได้ดังภาพประกอบ 4-8 เริ่มต้นด้วยการป้อนข้อมูลค่า DAC ให้แก่อัลกอริทึมเพื่อนำข้อมูลมาแบ่งเป็นกลุ่มของค่าสูงสุด กึ่งกลาง และต่ำสุด มาหาค่าสัมบูรณ์เพื่อนำมาคำนวณ DAC peak, avg line, detection line ของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการแบ่งเป็น windows ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.6 หลังจากได้ค่าต่างๆแล้วขั้นตอนต่อไปคือให้ความร้อนไปที่หัวอ่านจนกระทั่งมีการแจ้งเตือนการตรวจค่าผิดปกติของค่า DAC เนื่องจากเคลื่อนที่เหนือเส้น detection line เมื่อมีการแจ้งเตือนแสดงว่าหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์มากเกินไปจึงต้องมีการลดกำลังงานที่ส่งให้หัวอ่าน-เขียนโดยกำหนดให้ลดกำลังงานจากจุดที่ตรวจจับเป็น -5mW เพื่อไม่ให้อัลกอริทึมแจ้งเตือนอยู่ตลอดเวลาจึงได้เป็นค่าที่เหมาะสมกับฮาร์ดดิสก์ในแต่ละโซน



ภาพประกอบ 4-8 Flow chart ของอัลกอริทึมการกำหนดระยะ FH

4.8 การทดสอบอัลกอริทึมกับฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟจริง

หลังจากได้ออกแบบอัลกอริทึมเป็นที่เรียบร้อยแล้วหลังจากนี้จึงเป็นการนำอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบมาใช้กับฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟจริงโดยทดสอบกับฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟตัวที่หนึ่งที่หัว 0 และ 3 ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-1 สรุปค่า SER และ FH ของ H0 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากโรงงาน

Cylinder	Default test cycle	SER H0					Avg	FH Power
		1	2	3	4	5		
0	-5.648	-5.223	-5.589	-5.512	-5.482	-5.4908	73	
42500	-6.067	-6.334	-6.055	-5.903	-5.864	-6.0446	72	
85000	-5.976	-6.226	-5.818	-5.872	-6.453	-6.0690	71	
127500	-5.571	-5.755	-5.658	-5.568	-5.733	-5.6570	69	
153021	-5.581	-5.374	-5.317	-5.644	-5.570	-5.4972	69	

ตารางที่ 4-2 สรุปค่า SER และ FH ของ H0 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากอัลกอริทึม

Cylinder	Algorithm test cycle	SER H0					Avg	FH Power
		1	2	3	4	5		
0	-5.798	-5.582	-5.737	-5.753	-5.792	-5.7324	78	
42500	-7.033	-6.594	-6.459	-6.635	-6.431	-6.6304	84	
85000	-6.427	-6.402	-6.481	-6.379	-6.356	-6.4090	89	
127500	-6.812	-5.894	-6.21	-6.335	-5.586	-6.1674	85	
153021	-6.539	-6.073	-5.784	-6.051	-7.176	-6.3246	80	

ตารางที่ 4-3 สรุปค่า SER และ FH ของ H3 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากโรงงาน

Cylinder	Default test cycle	SER H3					Avg	FH Power
		1	2	3	4	5		
0	-6.055	-5.985	-5.600	-5.794	-5.994	-5.8856	68	
42500	-6.117	-5.754	-6.459	-6.255	-6.117	-6.1404	67	
85000	-6.038	-5.883	-6.105	-6.281	-6.360	-6.1334	67	
127500	-6.857	-7.158	-6.857	-7.158	-7.033	-7.0126	67	
153021	-6.36	-6.281	-5.717	-6.008	-6.059	-6.0850	67	

ตารางที่ 4-4 สรุปค่า SER และ FH ของ H3 ที่ได้จากการทดสอบค่าจากอัลกอริทึม

Cylinder	Algorithm					SER H3	FH Power
	1	2	3	4	5		
0	-6.152	-6.453	-6.277	-6.511	-6.335	-6.3456	75
42500	-6.681	-6.521	-6.104	-6.130	-6.431	-6.3734	79
85000	-6.184	-6.263	-6.360	-7.059	-6.883	-6.5498	85
127500	-7.334	-7.635	-7.334	-6.936	-7.033	-7.2544	81
153021	-6.170	-6.105	-7.059	-6.199	-6.184	-6.3434	77

ตารางที่ 4-5 สรุปค่า SER และ FH ของ H0 ที่ได้จากการทดสอบของโรงงานกับอัลกอริทึม

Cylinder	SER Avg				FH Power		
	Default	Algorithm	Delta	%Improve	Default	Algorithm	Delta
0	-5.4908	-5.7324	-0.2416	4.400	73	78	5
42500	-6.0446	-6.6304	-0.5858	9.691	72	84	12
85000	-6.0690	-6.4090	-0.3400	5.602	71	89	18
127500	-5.6570	-6.1674	-0.5104	9.022	69	85	16
153021	-5.4972	-6.3246	-0.8274	15.051	69	80	11

ตารางที่ 4-6 สรุปค่า SER และ FH ของ H3 ที่ได้จากการทดสอบของโรงงานกับอัลกอริทึม

Cylinder	SER Avg				FH Power		
	Default	Algorithm	Delta	%Improve	Default	Algorithm	Delta
0	-5.8856	-6.346	-0.4600	7.816	68	75	7
42500	-6.1404	-6.373	-0.2330	3.795	67	79	12
85000	-6.1334	-6.550	-0.4164	6.789	67	85	18
127500	-7.0126	-7.254	-0.2418	3.448	67	81	14
153021	-6.0850	-6.343	-0.2584	4.247	67	77	10

4.9 การวิจารณ์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการทดสอบอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับการเข้าใกล้ของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ ผลจากการทดสอบสามารถตรวจจับการเข้าใกล้ดิสก์ได้เมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์

ผลการกำหนดระยะ FH ด้วยอัลกอริทึมในแต่ละตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟเป็นที่น่าพอใจที่สามารถปรับปรุง SER ให้ดีขึ้นกว่าการตั้งค่า FH มาจากโรงงาน ผลของ SER ที่ดีขึ้นเป็นผลจาก FH ที่ต่ำลงทำให้สามารถเพิ่ม signal to noise ratio ได้ดีขึ้นทำให้ความผิดพลาดจากการเขียนหรืออ่านข้อมูลจากหัวอ่าน-เขียนลดลงส่งผลให้ SER ดีขึ้นเฉลี่ย 6.99%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ได้ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการรักษาตำแหน่งและการควบคุมหัวอ่าน-เขียนในที่อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางแทร็ค จากนั้นจึงทดสอบผลการควบคุมระยะ FH เมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์แล้วนำผลการทดสอบนั้นมาออกแบบเป็นอัลกอริทึมเพื่อปรับปรุง SER ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยในการออกแบบและการทดสอบอัลกอริทึม เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการรักษาตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียน จากนั้นจึงได้ข้อสรุปเกี่ยวกับตัวแปรที่ส่งผลอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์โดยมีการทดสอบค่า PES และ DAC ซึ่งจากผลการทดสอบเห็นได้ชัดเจนว่าค่า DAC มีการเคลื่อนไหวอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเข้าใกล้ดิสก์

ตัวแปรที่เห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์นั้นคือค่า DAC จึงนำตัวแปรนี้ไปใช้ในอัลกอริทึมเพื่อตรวจจับหัวอ่าน-เขียนเริ่มเคลื่อนเข้าใกล้ดิสก์เพื่อป้องกันการชนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผลการทดสอบปรากฏว่าสามารถตรวจจับหัวอ่าน-เขียนได้ก่อนการชนกันของหัวอ่าน-เขียนกับดิสก์โดยเทียบเคียงจากกำลังงานงานที่สุดจากการตรวจจับด้วยเทคโนโลยี TFC

ค่ากำลังงานที่ใช้กำหนดระยะ FH เป็นกำลังงานที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าการตรวจจับเมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์ ดังนั้นเมื่อใช้กำลังงานที่ได้นี้กำหนดระยะ FH เป็นการยากที่จะทำให้หัวอ่าน-เขียนชนกับดิสก์เนื่องจากเมื่อหัวอ่าน-เขียนเคลื่อนที่เข้าใกล้ดิสก์สามารถตรวจพบด้วยอัลกอริทึมนี้ ซึ่งหากมีการตรวจพบการเข้าใกล้ดิสก์ของหัวอ่าน-เขียนเกิดขึ้นสามารถลดระยะ FH เพื่อป้องกันการชนของหัวอ่าน-เขียน

ความผิดพลาดของการอ่านเขียนข้อมูลถูกวัดด้วยค่า SER ซึ่งจากผลการทดสอบในบทที่3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะ FH ลดลงจะส่งผลดีต่อค่า SER มากยิ่งขึ้น และจากผลของการออกแบบอัลกอริทึมทำให้ได้ค่าการกำหนด FH ที่ส่งผลให้ FH เข้าใกล้ดิสก์มากกว่าค่าที่กำหนดจากโรงงาน ดังนั้นผลของค่า SER ที่ได้จึงดีกว่า SER จากโรงงานซึ่งเป็นไปสอดคล้องตามผลการทดสอบจากบทที่3

5.2 ปัญหา

5.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะ FH ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการวัดระยะ FH ซึ่งเป็นการวัดด้วยเลเซอร์ว่าในงานวิจัยนี้ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากติดปัญหาความพร้อมเกี่ยวกับเครื่องมือวัดจึงใช้เทคโนโลยี TFC เพื่อหาระยะ FH

5.2.2 ข้อจำกัดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ทดสอบเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องจำนวนที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย

5.2.3 การค้นคว้าเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ทดสอบเป็นไปได้ค่อนข้างลำบากเนื่องจากเป็นความลับของผู้ผลิตที่ไม่สามารถเผยแพร่และให้ความรู้แก่ผู้วิจัยได้

5.2.4 การค้นคว้าข้อมูลความรู้จากสิทธิบัตรต่างๆส่วนใหญ่ไม่มีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีปัจจุบันที่ทดสอบเนื่องจากสิทธิบัตรที่สามารถค้นคว้าได้ค่อนข้างเก่า

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากงานการวิจัยนี้เป็นการลดระยะ FH ของหัวอ่าน-เขียนโดยสามารถลดระยะ FH ได้ต่ำกว่าค่าจากโรงงานกำหนดทำให้ SER ดีขึ้น ซึ่งในอนาคตความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีความจุเพิ่มสูงขึ้นกว่าปัจจุบัน และการที่จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีความจุเพิ่มสูงขึ้นนั้นก็จำเป็นต้องทำให้พื้นที่หนึ่งหน่วยมีความจุเพิ่มขึ้นซึ่งก็จะทำให้จุดของการเขียนอ่านข้อมูลเล็กลงทำให้สัญญาณที่อ่านได้มีปริมาณต่ำอาจทำให้ signal to noise ratio น้อยลงไปด้วยดังนั้นถ้าหากทำให้หัวอ่าน-เขียนอยู่ใกล้ดิสก์มากขึ้นด้วยการใช้อัลกอริทึมนี้เป็นการช่วยให้ signal to noise ratio เพิ่มขึ้น

ผู้ที่สนใจที่จะวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่าน-เขียนหรือส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้จากโครงสร้างการทำงานของแต่ละเทคโนโลยีของการผลิต หากองค์ความรู้เหล่านั้นไม่สามารถที่จะให้ผู้วิจัยสามารถค้นคว้าข้อมูลได้อย่างเต็มที่ ปัญหานี้จะส่งผลต่อการวิจัยโดยตรงซึ่งจะทำให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปได้ค่อนข้างลำบาก

บรรณานุกรม

- [1] Hitachi global storage technologies. Thermal Fly-height Control (TFC) Technology in Hitachi Hard Disk Drives, [Online] November 19 2008.
[http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/98EE13311A54CAC886257171005E0F16/\\$file/TFC_whitepaper041_807.pdf](http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/98EE13311A54CAC886257171005E0F16/$file/TFC_whitepaper041_807.pdf)
- [2] Y. Zhi-Min, W. Lei, Z. Wei, H. Sheng-Bin, X. Rui, N. Ka Wei, and L. Bo. In-Situ Flying Height Testing Technology. Asia-Pacific Magnetic Recording Conference., pp.TU-P-13-01 - TU-P-13-02, 2002.
- [3] B. Liu, S.K. Yu, W.D. Zhou, C. H. Wong, and W. Hua. Low Flying-Height Slider with High Thermal Actuation Efficiency and Small Flying-Height Modulation Caused by Disk Waviness. IEEE Magnetics Transactions., Vol. 44, pp.145-150, 2008.
- [4] H. Li, B. Liu and T. C. Chong. Interface solution for writing-induced nano-deformation of slider body. Journal of Magnetism and Magnetic Materials., Vol. 303, pp. e86–e90, 2006.
- [5] F. Chen, H. Xie and G.K. Fedder. A MEMS-based monolithic electrostatic microactuator for ultra-lowmagnetic disk head fly height control. IEEE Magnetics Transactions., Vol. 37, pp.1915 – 1918, 2001.
- [6] Jeffrey Lille, S., and Mike Suk. (2008). Predictive Failure Analysis of Thermal Flying Height Control System and Method, US. Patent No. 7336434
- [7] Yiping Ma. (2008). Detection of Fly Height Change in a Disk Drive, US. Patent No. 2008/0013198A1
- [8] Hitachi global storage technologies. The era of giant magnetoresistive heads, [Online] April 12 2009, <http://www.hitachigst.com/hdd/technolo/gmr/gmr.htm>
- [9] L.K. Mustakallio. Hard Disk Basics, [Online] April 12 2009,
<http://keppanet.netfirms.com/keppanet/harddisk.htm>
- [10] Abdullah Al Mamun, GuoXiao Guo, Chao Bi . Hard Disk Drive Mechatronics and Control. USA: Taylor & Francis Group, 2006.
- [11] Hitachi global storage technologies. Drive Fitness Test, [Online] November 19 2008.
<http://www.hitachigst.com/hdd/technolo/dft/dft.htm>

- [12] Hitachi Global Storage Technologies Japan, Ltd. (2006). Disk storage device. US. Patent No. 6989957.
- [13] Charles M. Kozierek. Giant Magnetoresistive (GMR) Heads, [Online] April 12 2009.
<http://www.pcguides.com/ref/hdd/op/heads/techGMR-c.html>
- [14] Toshiba. Comparison of Recording Systems in HDD, [Online] April 12 2009.
http://www.toshiba.co.jp/about/press/2004_12/pr1401.htm
- [15] Guzik Technical Enterprises. Introduction to Perpendicular Recording, [Online] April 12 2009. http://www.guzik.com/solutions_chapter7.shtml
- [16] Hitachi global storage technologies. Recording Head/ CPP Tunnel Valve, [Online] April 12 2009. http://www.hitachigst.com/hdd/research/recording_head/cpp/index.html
- [17] Data Recovery Centre. How Does A Hard Drive Work, [Online] May 12 2010,
http://www.datarecoverycentre.co.uk/how_hard_disks_work.htm
- [18] Quickpc. การเลือกซื้อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HardDiskDrive) , [Online] December 10 2008.
http://www.Quickpc.co.th/quick_data/guide/Hdd/hdd.htm

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โปรแกรมภาษา Matlab สำหรับทดสอบอัลกอริทึม

```

function [FH,FH_str]=FH_WindowsPeakDetect(dataInput,set_sample,windows,graph)
TDP=dataInput;

% Test only
% set_sample=700;

% windows=15
% Calculate variable to convert to true FH
TDPsize=size(TDP);
TDPColumnSize=TDPsize(2);

% Convert data 2D array to 1D
TDP1D=Array2Dto1D(TDP);

% Testing somethings
dat=TDP;
datSort=sort(dat,2);
% end testing something

% Manage data to 2D array by scroll window
numData=size(TDP1D);
windows=windows;

windowsMax=windows;
windowsMin=1;
windowsMid=int16(windows/2);
count=0;
for i=1:(numData(2)-windows)
    for j=0:windows-1
        TDP2D(i,j+1)=TDP1D(i+j);
    end
end

```

```
end

end

numData=size(TDP2D);
dataSize=numData(1); %is 10000x15 <-> (1)x(2) numData(1) is 1000

data=TDP2D;
% Show data array
data_size=size(data);
% data_size(1)=row,2=column
% Ans 115 15
% Row=115 Colum=15
row=data_size(1);
column=data_size(2);
%data(row,column)

%data=[ 546378912
%      546378912
%      546378912]
% Arrange data value from minimum to maximum at each row
data_AfterSort=sort(data,2);

data_absAfterSort=abs(data_AfterSort);
% (data,1) column, (data,2) row
%After sort row
%[ 123456789
%  123456789
%  123456789]

dummy_data=data_absAfterSort;
```

```

if (set_sample<=0)
    set_sample=700;
else
    set_sample=set_sample;
end

% Fill data to calculate average line
for count=1:set_sample
    data_fill(count,windowsMin)=dummy_data(count,windowsMin);
    data_fill(count,windowsMid)=dummy_data(count,windowsMid);
    data_fill(count,windowsMax)=dummy_data(count,windowsMax);
end

% Arrange value to find Max Min
data_fillSort=sort(data_fill,1);

% Find average column 1, 7, 15
column_1=0;
column_7=0;
column_15=0;
for count=1:set_sample
    column_1=column_1+data_fillSort(count,windowsMin);
    column_7=column_7++data_fillSort(count,windowsMid);
    column_15=column_15++data_fillSort(count,windowsMax);
end

% Arrange value
Avg(windowsMin)=column_1/set_sample;
Avg(windowsMid)=column_7/set_sample;
Avg(windowsMax)=column_15/set_sample;
if (graph>0)
str = ['Avg Min Mid Max: ',num2str(Avg(windowsMin)), ...

```

```

num2str(Avg(windowsMid)),num2str(Avg(windowsMax))];
disp(str);
end
% Base line = average+peak
B(windowsMin)=Avg(windowsMin)+data_fillSort(set_sample,windowsMin);
B(windowsMid)=Avg(windowsMid)+data_fillSort(set_sample,windowsMid);
B(windowsMax)=Avg(windowsMax)+data_fillSort(set_sample,windowsMax);

factor=1.4;
% Detect data exceed above of Base line
% colum 1 (Minimum)
columnDetect=windowsMin;
% B(columnDetect)=data_fillSort(set_sample,columnDetect)*factor;
% data_fillSort(set_sample,columnDetect) -> Peak of sample

B(columnDetect)= data_fillSort(set_sample,columnDetect) ...
+ ((data_fillSort(set_sample,columnDetect) ...
- Avg(columnDetect))*1);
count=0;
for i=1:(dataSize-windows)
count=count+1;
if (data_absAfterSort(i,columnDetect)>B(columnDetect))
if (graph>0)
str = ['found Min Data exceed: ',num2str(count/TDPColumnSize), ...
' count: ',num2str(count)];
disp(str);
% disp(count);
end
break;
end

```

```

end

% Store output
FH=count/TDPColumnSize;
FH_str='found Min Data exceed: ';

% Detect data exceed above of Base line
% colum 7 (Mid)
columnDetect=windowsMid;
% B(columnDetect)=data_fillSort(set_sample,columnDetect)*factor;
B(columnDetect)= data_fillSort(set_sample,columnDetect) ...
    + ((data_fillSort(set_sample,columnDetect) ...
    - Avg(columnDetect))*1);
count=0;
for i=1:(dataSize -windows)
    count=count+1;
    if (data_absAfterSort(i,columnDetect)>B(columnDetect))
        if (graph>0)
            str = ['found Mid Data exceed: ',num2str(count/TDPColumnSize), ...
                ' count: ',num2str(count)];
            disp(str);
            %    disp(count);
        end
        break;
    end
end

% Store output
if (FH>count/TDPColumnSize)
    FH=count/TDPColumnSize;
    FH_str='found Mid Data exceed: ';

```



```

end

% Detect data exceed above of Base line
% column 15 (Mid)
columnDetect=windowsMax;
% B(columnDetect)=data_fillSort(set_sample,columnDetect)*factor;
B(columnDetect)= data_fillSort(set_sample,columnDetect) ...
    + ((data_fillSort(set_sample,columnDetect) ...
    - Avg(columnDetect))*1);
count=0;
for i=1:(dataSize-windows)
    count=count+1;
    if (data_absAfterSort(i,columnDetect)>B(columnDetect))
        if (graph>0)
            str = ['found Max Data exceed: ',num2str(count/TDPColumnSize), ...
                ' count: ',num2str(count)];
            disp(str);
        end
        break;
    end
end

% Store output
if (FH>count/TDPColumnSize)
    FH=count/TDPColumnSize;
    FH_str='found Max Data exceed: ';
end

FH;
FH_str;

```

```

if (graph>0)
    % Plot graph raw data
    figure;
    columnPlot=windowsMin;
    subplot(4,1,2); % SUBPLOT(m,n,p)->m-by-n matrix of small axes
    % plot(data_absAfterSort(1:dataSize,columnPlot)); % plot(X,Y)
    % plot(1:dataSize,B(1));
    plot(1:dataSize,B(columnPlot), ...
        1:dataSize,data_absAfterSort(1:dataSize,columnPlot), ...
        1:dataSize,Avg(windowsMin));
    title('Min data detect');

    columnPlot=windowsMid;
    subplot(4,1,3); % SUBPLOT(m,n,p)->m-by-n matrix of small axes
    % plot(data_absAfterSort(1:dataSize,columnPlot)); % plot(X,Y)
    % plot(1:dataSize,B(1));
    plot(1:dataSize,B(columnPlot), ...
        1:dataSize,data_absAfterSort(1:dataSize,columnPlot), ...
        1:dataSize,Avg(windowsMid));
    title('Mid data detect');

    columnPlot=windowsMax;
    subplot(4,1,4); % SUBPLOT(m,n,p)->m-by-n matrix of small axes
    % plot(data_absAfterSort(1:dataSize,columnPlot)); % plot(X,Y)
    % plot(1:dataSize,B(1));
    plot(1:dataSize,B(columnPlot), ...
        1:dataSize,data_absAfterSort(1:dataSize,columnPlot), ...
        1:dataSize,Avg(windowsMax));
    title('Max data detect');

```

```
subplot(4,1,1); % SUBPLOT(m,n,p)->m-by-n matrix of small axes
plot(TDP1D);
str = ['Raw data average Min',num2str(Avg(windowsMin)), ...
      '] Mid',num2str(Avg(windowsMid)),'] Max ',num2str(Avg(windowsMax)),'];
title(str);
end
```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายรัชฎูพร ชาญณรงค์
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120136
 วุฒิกการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)
 ทุนวิจัย ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Tanyaporn Channarom, Nattha Jindapetch, and Kerkchai Thongnoo, “Study of the Variance of the Hard Disk Drive Read/Write Head Touch Down Power for Setting Fly-Height”, The 8th PSU Engineering Conference PEC (8), April 22-23, 2010.