

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การoptimizationกระแสเขียนสำหรับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง

WRITE CURRENT OPTIMIZATION FOR MAGNETIC RECORDING SYSTEM



T117895



พรชัย เปลี่ยมทรัพย์

PORNCHAI PLIAMSUP

พ
พ 2317
2554

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **117895**
วัน,เดือน,ปี **22 ค.ศ. 2554**

b. 1235031x
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-M-010-091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WRITE CURRENT OPTIMIZATION FOR MAGNETIC RECORDING SYSTEM



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

KMITL-2011-EN-M-010-091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออปติไมส์กระแสเขียนสำหรับระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก แนวตั้ง
นักศึกษา	นายพรชัย เปลี่ยมทรัพย์
รหัสประจำตัว	51060914
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และเสนอวิธีการออปติไมส์กระแสเขียน (write current optimization) ด้วยกราฟคอนทัวร์ (contour graph) ที่ได้จากการพล็อตอัตราผิดพลาด (bit error rate: BER) โดยที่การศึกษาผลกระทบของกระแสเขียนนั้นจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และพารามิเตอร์ของกระแสเขียนทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ แอมพลิจูดกระแสเขียน (write current amplitude: I_w), ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current overshoot: I_o) และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current duration: I_d) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่า I_w , I_o และ I_d ทำให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นเฉพาะในกรณีไม่มีการบีบแตร็ก (unsqueezed) แต่ในกรณีบีบแตร็ก (squeezed) นั้นเป็นผลให้สมรรถนะต่ำลงตามเปอร์เซ็นต์ของการบีบแตร็กที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า I_o จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบมากกว่า I_d ในการออปติไมส์กระแสเขียนได้ปรับปรุงวิธี baseline โดยกำหนด I_o ที่ทำให้บริเวณพื้นที่ของ BER สูงตรงกลาง มีขนาดใหญ่ที่สุด แล้วเลือก I_d ต่ำสุดในโซนกลางจำนวนสามค่า ในอีกวิธีที่นำเสนอ เราพล็อตกราฟคอนทัวร์ระหว่าง I_w และ I_o ดังนั้นกำหนด I_d ที่ทำให้บริเวณพื้นที่ของ BER สูงตรงกลาง มีขนาดใหญ่ที่สุด เลือก I_o ต่ำสุดในโซนกลางจำนวนสามค่า หลังจากนั้นเลือก I_w จำนวนแปดค่า จะได้ชุดกระแสเขียนทั้งหมด 24 ชุด เลือกชุดกระแสเขียนที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงที่สุดแปดชุด ผลที่ได้คือวิธีที่นำเสนอให้ค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่าวิธี baseline และยังพบอีกว่าวิธีนำเสนอที่สองจะให้ค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่าวิธีนำเสนอที่หนึ่ง แต่ในโหมดไม่มีการบีบแตร็กผลที่ได้ตรงกันข้าม เพราะ I_o มีผลต่อสมรรถนะของระบบมากกว่า I_d

Thesis	Write current optimization for magnetic recording system
Student	Mr.Pornchai Pliamsup
Student ID.	51060914
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunication Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pornchai Supnithi

ABSTRACT

This thesis studies the effects of write current on the performance of hard disk drives, and proposes a method of write current optimization based on the contour graph. The contour graph is plotted based on the bit error rate (BER) obtained from running the full write current combination on the drives. We study the effects of the write current based on three parameters of write current: write current amplitude (I_w), write current overshoot (I_o) and write current duration (I_d). It is found that increasing these parameters can result in the saturated performance, measured as $-\log_{10}(\text{BER})$. In addition, the write current overshoot affects the performance more than the write current duration. For the optimization, we improve the baseline method by selecting the best write current overshoot that gives widest BER area, then selecting three levels of the write current durations. On the contrary, in the proposed method, we plot the contour graph between the write current amplitude and the write current overshoot, then select the best write current duration that gives the widest BER area. Finally, we select three upward edge points of the write current overshoot. After that, we select eight points of the write current amplitude, resulting in the total of 24 sets of the write current. Finally, the base eight write triplet is determined. We can deduce from the experimental result that, the proposed method gives better performance than the baseline method. Moreover, we observe that the fixed write current duration yields the higher performance than the fixed write current overshoot. However, in the unsqueezed mode, the result is opposite to the squeezed mode in that the write current overshoot affects the system performance more than the write current duration.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิตินิ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิศวกรรม โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบริษัทซีเทคเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด รวมทั้งพี่ๆแผนก Failure Analysis (FA) โดยเฉพาะคุณกัณวัฒน์ เสนานานู, ดร.ปฎิวัติ กมลเพชร และคุณชานนท์ โสติดถาวร สำหรับคำแนะนำต่างๆ ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมถึงข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ สำนักวิจัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ภายใต้ทุนหมายเลข HDD-01-51-05M สำหรับทุนการศึกษาและการวิจัย ตำราเรียนและอุปกรณ์ต่างๆ สัมมนาและการประชุมทางวิชาการ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านในห้องปฏิบัติการ CSRG (ห้องปฏิบัติการสื่อสารดาวเทียม) สำหรับคำแนะนำความช่วยเหลือและกำลังใจที่มีให้เสมอมา

สุดท้ายต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรชัย เปลี่ยมทรัพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	5
2.1 ระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก.....	5
2.1.1 ระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวนอน.....	6
2.1.2 ระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง.....	6
2.2 ลูปฮิสเทอรีซิส.....	8
2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	9
2.3.1 Platter.....	10
2.3.2 ความหนาแน่นเชิงพื้นที่.....	10
2.3.3 Spindle.....	10
2.3.4 Actuator.....	11
2.3.5 การเชื่อมโยง.....	11
2.4 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ IV วิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 แบบจำลองของระบบการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	12
2.6 กระบวนการเขียนข้อมูล.....	13
2.6.1 วงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด.....	13
2.6.2 วงจรเข้ารหัสมอดูเลชัน.....	14
2.6.3 วงจรเข้ารหัสก่อน.....	15
2.6.4 การชดเชยก่อนการเขียน.....	15
2.6.5 วงจรมอดูเลเตอร์.....	15
2.6.6 รูปแบบของข้อมูล.....	16
2.7 กระบวนการอ่าน.....	17
2.7.1 ประเภทของหัวอ่าน.....	17
2.7.2 แบบจำลองสัญญาณอ่านกลับ.....	18
2.7.3 ความหนาแน่นผู้ใช้งาน.....	23
2.7.4 แบบจำลองช่องสัญญาณการบันทึกในระบบแม่เหล็ก.....	24
2.7.5 การแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ในสัญญาณอ่านกลับ.....	25
บทที่ 3 กระแสเขียนในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก.....	27
3.1 รูปสัญญาณกระแสเขียนที่วงจรมายก่อน.....	27
3.1.1 แอมพลิจูดกระแสเขียน.....	28
3.1.2 ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน.....	28
3.1.3 ช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน.....	28
3.2 ผลกระทบของกระแสเขียน.....	29
3.2.1 การบีบแตร็ก.....	29
3.2.2 การลบข้างบางส่วนของสนามแม่เหล็กย้อนกลับ.....	30
3.2.3 การเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะแบบไม่เป็นเชิงเส้น.....	32
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเขียนและอัตราบิดผิดพลาด.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ V ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเจียน.....	41
4.1 ความสำคัญของการอพติไมส์กระแสเจียน.....	41
4.2 อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเจียน.....	41
4.2.1 อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเจียนของ baseline.....	42
4.2.2 อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเจียนของวิธีนำเสนอที่ 1.....	43
4.2.3 อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเจียนของวิธีนำเสนอที่ 2.....	45
บทที่ 5 ผลการทดลองและบทวิเคราะห์.....	47
5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
5.2 ผลกระทบของพารามิเตอร์กระแสเจียนในวงจรพีแอมป์ต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง.....	49
5.3 ผลการอพติไมส์พารามิเตอร์กระแสเจียนในวงจรพีแอมป์.....	59
5.3.1 กราฟคอนทัวร์สำหรับการอพติไมส์พารามิเตอร์กระแสเจียน.....	59
5.3.2 การอพติไมส์กระแสเจียน.....	62
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	66
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	86

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
5.1 พารามิเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลกระทบของกระแสเขียน.....	48
5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออปติไมส์.....	49



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1	กระบวนการเขียนและการอ่านของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแวนอน.....	7
2.2	กระบวนการเขียนและการอ่านของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง.....	8
2.3	ลูปีฮิสเทอรีซิส.....	8
2.4	โครงสร้างและส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	9
2.5	โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	11
2.6	แบบจำลองของระบบการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	12
2.7	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการเขียน.....	13
2.8	ตัวอย่างบิตข้อมูลแบบ NRZ และ NRZI.....	16
2.9	สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะสำหรับการบันทึก (ก) แบบแวนอน, (ข) แบบแนวตั้ง.....	19
2.10	ผลตอบสนองไคบิต สำหรับการบันทึก (ก) แบบแวนอน.....	21
	ผลตอบสนองไคบิต สำหรับการบันทึก (ข) แบบแนวตั้ง.....	22
2.11	ผลตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณพัลส์ไคบิต สำหรับการบันทึก (ก) แบบแวนอน.....	22
	ผลตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณพัลส์ไคบิต สำหรับการบันทึก (ข) แบบแนวตั้ง.....	23
2.12	แบบจำลองช่องสัญญาณการบันทึกในระบบแม่เหล็ก.....	24
2.13	ผลรวมของสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะติดกันสองพัลส์สำหรับ (ก) $ND = 1$ และ (ข) $ND = 3$	26
3.1	ตัวอย่างสัญญาณกระแสเขียนที่วงจรรีแอมป์.....	27
3.2	การบีบแตรีกแบบ (ก) DC – squeezed และ (ข) AC – squeezed.....	30
3.3	ตัวอย่างการเกิด RFPE (ก) สนามเขียน (write field) และสนามย้อนกลับ (ข) การเปลี่ยนสถานะกำหนดจากบริเวณที่สนามหัวเขียนเท่ากับค่า coercivity ของสื่อบันทึก (ค) บิตที่เพิ่งเขียนใหม่เริ่มต้นมีสนามย้อนกลับ แต่ยังไม่เกิด RFPE (ง) หัวเขียนเคลื่อนที่มาจากการเปลี่ยนสถานะ สนามลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กภายในบิตแรงขึ้น ซึ่งความแรงของสนามย้อนกลับนี้ทำให้เกิด RFPE.....	31
3.4	สัญญาณกระแสเขียนที่เกิด NLTS จะขึ้นอยู่กับอัตราข้อมูลสำหรับค่า τ_c ที่ต่างกัน.....	32
3.5	สัญญาณกระแสเขียนที่ค่า τ_c ต่างกันซึ่งวัดที่เอาต์พุตของวงจรรีแอมป์.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

3.6	ค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กสำหรับระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่างกัน.....	34
3.7	กระแสเขียนและเวลาการบันทึกสำหรับระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่างกัน โดยที่วงกลมแสดงถึงตำแหน่งของการบันทึกที่จริง.....	34
3.8	แสดง NLTS ที่ถูกวัดสำหรับความยาวของ yoke = 15 ไมโครเมตร (micrometer) (slow heads) และที่ 10 ไมโครเมตร (fast heads).....	35
3.9	แสดง NLTS ที่วัดจากระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 25 เปรอร์เซ็นต์.....	36
4.1	ตัวอย่างการอพติไมล์กระแสเขียนด้วยวิธี baseline.....	42
4.2	บล็อกไดอะแกรมอัลกอริทึมการอพติไมล์กระแสเขียนด้วยวิธี baseline.....	43
4.3	ตัวอย่างการอพติไมล์กระแสเขียนด้วยวิธีนำเสนอแบบที่ 1.....	44
4.4	บล็อกไดอะแกรมอัลกอริทึมการอพติไมล์กระแสเขียนด้วยวิธีนำเสนอแบบที่ 1.....	45
4.5	บล็อกไดอะแกรมอัลกอริทึมการอพติไมล์กระแสเขียนด้วยวิธีนำเสนอแบบที่ 2.....	46
5.1	รูปแบบการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 23 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps	50
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 36 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps	51
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 49 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps.....	52
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 23 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA.....	53
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 36 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA.....	54
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 49 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA.....	55
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 78 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 378 ps.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

5.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้ส่วนพุงเกินกระแสเขียน 60 mA และช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียน 549 ps.....	57
5.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้ส่วนพุงเกินกระแสเขียน 90 mA และช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียน 264 ps.....	58
5.11	กราฟคอนทราสต์ที่ได้รับ เมื่อส่วนพุงเกินกระแสเขียนเท่ากับ 84 mA.....	60
5.12	กราฟคอนทราสต์ที่แสดงตัวอย่างการอพติไมส์ฟารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธี baseline	60
5.13	กราฟคอนทราสต์ที่แสดงตัวอย่างการอพติไมส์ฟารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธีที่ 1.....	61
5.14	ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี และวิธีของ baseline ในโหมดของการบีบแตรีก.....	62
5.15	ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดไม่มีการบีบแตรีกที่เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 และวิธีของ baseline.....	63
5.16	ผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดบีบแตรีกของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี เทียบกับวิธีของ baseline.....	64
5.17	ผลต่างค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดไม่มีการบีบแตรีกที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี เทียบกับวิธีของ baseline.....	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง เป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบและออปติไมส์ (optimize) ผลิตรหัสฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate: BER) เป็นตัวชี้วัดคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลิตรหัสฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การออกแบบและการออปติไมส์ผลิตรหัสจะขึ้นอยู่กับหลายส่วนด้วยกันเช่น สื่อบันทึก (media) หัวอ่าน - เขียน (heads) และช่องสัญญาณอ่าน - เขียน (read - write channel) เป็นต้น

ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (areal density) บนสื่อบันทึกเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบการเพิ่มความจุ (capacity) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งมีหลายองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกัน เช่น ความหนาแน่นเชิงเส้น (linear density) ความหนาแน่นเชิงแทร็ค (track density) หัวเขียน (write head) และกระแสเขียน (write current) เป็นต้น ซึ่งในการออปติไมส์ความหนาแน่นเชิงพื้นที่จะใช้ความหนาแน่นเชิงเส้น ความหนาแน่นเชิงแทร็ค และกระแสเขียน เป็นตัวปรับให้ได้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม กระแสเขียนยังมีผลต่อสมรรถนะของระบบบันทึกเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง โดยกระแสเขียนจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์อยู่ 3 ตัวแปรคือ แอมพลิจูดกระแสเขียน (write current amplitude: I_w) ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current overshoot: I_o) และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current duration: I_d) การเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนให้กับหัวเขียน ไม่เพียงแต่ทำให้สนามแม่เหล็กเขียน (write magnetic field) เพิ่มขึ้น ยังทำให้หัวบันทึกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลให้หัวบันทึกยื่นออก (protrusion) เข้าใกล้สื่อบันทึกมากขึ้น [1], [2] และยังก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กย้อนกลับได้ trailing shield อีกด้วย [3] ส่วนการเพิ่มค่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนจะทำให้ใช้เวลาสั้นลงในการสวิตช์ขั้วจำนวนเกรน (grain) ที่เปลี่ยนขั้วจะมากขึ้น [4] และช่วยให้ข้ามผ่านแบนด์วิดท์ที่จำกัดในการขับเคลื่อนเขียน (write driver) การเชื่อมต่อ (interconnects) และหัวเขียน แต่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเลื่อนการเปลี่ยนสถานะ (transition shifts) และเกิดความผิดพลาดของการเปลี่ยนสถานะการบันทึก [5], [6] ดังนั้น การออปติไมส์กระแสเขียนจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง [7], [8], [9]

ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้เราจึงได้ศึกษาถึงผลกระทบและการออปติไมส์กระแสเขียนของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของ $-\log_{10}(\text{BER})$ โดยในส่วนของผลกระทบของกระแสเขียนในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก เราให้ความสนใจกับพารามิเตอร์ของกระแสเขียนทั้ง 3 ตัวแปร ซึ่งจะหาความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และพารามิเตอร์ของกระแสเขียนได้แก่แอมพลิจูดของกระแสเขียน ส่วนพุงเกินกระแสเขียน และช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียน จากนั้นวิเคราะห์ถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ของกระแสเขียนที่มีต่อระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง ในส่วนของการออปติไมส์พารามิเตอร์ของกระแสเขียน จะเสนอวิธีในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของกระแสเขียน โดยเลือกจากกราฟคอนทัวร์ (contour graph) และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธี baseline ซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาผลกระทบของกระแสเขียน (write current) และการออปติไมส์ (optimization) กระแสเขียน โดยได้ทำการศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของกระแสเขียนคือ แอมพลิจูดกระแสเขียน (write current amplitude: I_w), ส่วนพุงเกินของกระแสเขียน (write current overshoot: I_o) และช่วงเวลาส่วนพุงเกินของกระแสเขียน (write current duration: I_d) ว่ามีผลต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กอย่างไร เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษานี้มาใช้ในการวิเคราะห์การออปติไมส์กระแสเขียน ในการออปติไมส์กระแสเขียนนี้ ได้นำเอากราฟคอนทัวร์ (contour graph) มาเป็นเทคนิคในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของกระแสเขียน ซึ่งจะช่วยให้เลือกพารามิเตอร์ของกระแสเขียนที่เหมาะสมและทำให้สมรรถนะของระบบสูงขึ้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การออปติไมส์กระแสเขียนในปัจจุบันมีหลายวิธีที่นำมาใช้งานกัน หนึ่งในวิธีนั้น คือการนำเอากราฟคอนทัวร์มาใช้ในการเลือกพารามิเตอร์ของกระแสเขียน โดยนำเอา $-\log_{10}(\text{BER})$ มาพล็อตกราฟคอนทัวร์ ซึ่งจะเลือกส่วนพุงเกินกระแสเขียนเป็นอันดับแรก จากนั้นเลือกช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนและแอมพลิจูดกระแสเขียนตามลำดับ โดยที่แอมพลิจูดกระแสเขียนจะเลือกไว้ 8 ค่า เนื่องจากในการใช้งานจริงคุณสมบัติของหัวอ่าน-เขียน และคุณสมบัติของสื่อบันทึกแต่ละอันไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีชุดกระแสเขียนจำนวนหนึ่ง ไว้เพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมในแต่ละหัวอ่าน-เขียน แต่

วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดกับกราฟคอนทัวร์ที่มีลักษณะของเส้นโค้งเป็นเชิงเส้น (linear) ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการเลือกพารามิเตอร์ของกระแสเขียนด้วยกราฟคอนทัวร์ในกรณีที่กราฟมีลักษณะเส้นโค้งไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) โดยการเปลี่ยนกระบวนการในการเลือกส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนใหม่ คือจากเดิมที่เลือกแค่หนึ่งค่า ก็ให้เลือกรange ของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเป็น 3 ค่า เมื่อถึงขั้นตอนที่เลือกแอมพลิจูดกระแสเขียนจะได้ชุดกระแสเขียนทั้ง 24 ชุด สุดท้ายเลือกชุดที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงที่สุด 8 ชุด ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้การเลือกชุดกระแสเขียนจากกราฟคอนทัวร์ที่มีลักษณะเส้นโค้งไม่เป็นเชิงเส้นได้ชุดที่เหมาะสมกว่าวิธีแรก เป็นผลให้สมรรถนะของระบบดีขึ้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบแนวตั้ง (perpendicular) ใช้ชิพฟรีแอมป์บริษัทเดียว และทำการวัดข้อมูลจำนวนหนึ่งแทร็ค โดยใช้ทั้งหมด 864 เซกเตอร์ (sectors) ใช้การบีบแทร็คที่ปริมาณ 3, 6 และ 12 เฟอร์เซ็นต์ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบและนำเสนอการปรับปรุงการอพติไมส์กระแสเขียน โดยการเลือกพารามิเตอร์จากกราฟคอนทัวร์อ้างอิงจากการอพติไมส์กระแสเขียนที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันจากบริษัทซีเทคเทค โน โลยี (ประเทศไทย) จำกัด โดยนำเอาอัลกอริทึมของทางบริษัทมาปรับปรุงเพื่อให้เลือกพารามิเตอร์ของกระแสเขียนได้อย่างเหมาะสม คือการเปลี่ยนวิธีการเลือกรange ของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนและการเลือกชุดกระแสเขียนที่เหมาะสมกับระบบใหม่ แล้วทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีเดิมกับวิธีใหม่ที่น่าเสนอในรูปของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย, จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์, สมมุติฐาน, ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก, ลูปฮิสเทอรีซิส, โครงสร้างและส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์, โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์, แบบจำลองของระบบการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์, กระบวนการเขียนข้อมูล และกระบวนการอ่าน

บทที่ 3 กล่าวถึงพารามิเตอร์ของกระแสเขียนที่วางจรรยาบรรณ และผลกระทบของพารามิเตอร์กระแสเขียนที่มีต่อระบบ รวมไปถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเขียนและอัตราบิดผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 กล่าวถึงอัลกอริทึมของวิธี baseline และอัลกอริทึมของวิธีที่นำเสนอ

บทที่ 5 กล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง และการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ กระแสเขียนที่ใช้ในการอพติไมส์ รวมถึงเปรียบเทียบผลที่ได้จากการอพติไมส์ของวิธี baseline และวิธีที่นำเสนอ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ในบทนี้จะกล่าวถึง ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยจะอธิบายถึงรูปแบบของการบันทึกข้อมูล, อุปกรณ์เทอร์ริซีส, โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์, แบบจำลองการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ อธิบายถึงภาพรวมในการบันทึกข้อมูลรวมถึงส่วนประกอบต่างๆ, โครงสร้างในการจัดเก็บข้อมูลบนสื่อบันทึก สุดท้ายอธิบายในส่วนของการกระบวนการเขียนและการอ่านข้อมูล

2.1 ระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก

การบันทึกข้อมูลในระบบแม่เหล็กถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1888 โดย Oberlin Smith [10] และถูกนำมาแสดงครั้งแรกในปี ค.ศ. 1898 โดย Valdemar Poulsen [11] ในรูปของ “Telegraphone” ซึ่งเป็นเครื่องบันทึกเสียง โดยการบันทึกสัญญาณเสียงจะอยู่ในรูปแบบแอนาล็อก (analog) บนสายลวดเปียโนที่พันรอบดรัม (drum) ที่หมุนได้ ต่อมาได้มีการพัฒนาจนเป็นการบันทึกในระบบแม่เหล็กออกมาสู่ท้องตลาด ระบบการบันทึกแม่เหล็กจะจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงระดับสภาพความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ในสื่อบันทึก (media) ซึ่งจะแบ่งเป็นแบบแอนาล็อกและแบบดิจิทัล (digital) ระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบแอนาล็อกนั้นจะเก็บสัญญาณในรูปของการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นแม่เหล็กอย่างต่อเนื่อง โดยที่ระดับของสภาพความเป็นแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณที่ต้องการบันทึก ส่วนระบบการบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัลจะใช้คุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของวัสดุบางอย่างที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว (saturated) แล้วจะทำให้สภาพความเป็นแม่เหล็กขึ้นในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งจะเหมาะสำหรับการบันทึกข้อมูลเพียง 2 สถานะคือ บิต “0” และ “1” หรือเรียกว่าข้อมูลแบบไบนารี (binary)

ในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเช่น คอมพิวเตอร์, โทรศัพท์มือถือ, เครื่องเล่นเพลงแบบพกพา, กล้องดิจิทัลและอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ใช้จัดเก็บส่วนใหญ่เป็นข้อมูลแบบดิจิทัล ดังนั้นในปัจจุบันระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบดิจิทัล (digital magnetic recording) จึงเป็นที่นิยมใช้ ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบดิจิทัลเท่านั้น ซึ่งระบบการบันทึกแม่เหล็กแบบดิจิทัลที่ใช้งานในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

ระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบแนวนอน (longitudinal recording) ทิศทางของสภาพความเป็นแม่เหล็กจะขนานไปกับสื่อบันทึก และระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแนวตั้ง (perpendicular recording) ทิศทางของสภาพความเป็นแม่เหล็กจะตั้งฉากไปกับสื่อบันทึก

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวแรกเป็นของบริษัท ไอบีเอ็ม (IBM) ถูกผลิตขึ้นออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 1956 เรียกชื่อว่า “Random Access Method of Accounting and Control (RAMAC) หรือ IBM 350” [12] โดยใช้งานบันทึกทั้งหมด 50 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว บันทึกข้อมูลได้สูงสุดแผ่นละ 5 เมกะไบต์ (Megabyte: MB) มีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 8.8 กิโลไบต์ต่อวินาที (kilobyte per second: kB/s) มีความเร็วในการหมุนจานบันทึกได้สูงสุด 1200 รอบต่อนาที (rotations per minute: rpm) และมีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (areal density) ประมาณ 2 กิโลบิตต่อตารางนิ้ว (kilobit per square inch: kb/in²)

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้มีขนาดเล็กลงมา โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานบันทึกเพียง 3.5 นิ้ว และ 2.5 นิ้ว ซึ่งฮาร์ดดิสก์ที่มีในท้องตลาดสามารถบันทึกข้อมูลได้ถึง 2 เทระไบต์ (Terabyte: TB) โดยใช้งานบันทึกทั้งหมดจำนวน 4 แผ่นด้วยกัน ความเร็วในการหมุนจานบันทึก 7,200 รอบต่อนาที และความหนาแน่นเชิงพื้นที่ประมาณ 300 กิกะบิตต่อตารางนิ้ว (Gigabit per square inch: Gb/in²) ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในปัจจุบันได้เพิ่มความสามารถในการทำงานสูงมากขึ้นเมื่อเทียบกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวแรกที่ถูกผลิตขึ้นในอดีต ไม่ว่าจะเป็น หัวอ่าน/เขียน (read/write head), สื่อบันทึก หรือระบบการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (digital signal processing) ในชิปช่องสัญญาณการอ่าน (read channel chip) เป็นต้น

2.1.1 ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวนอน

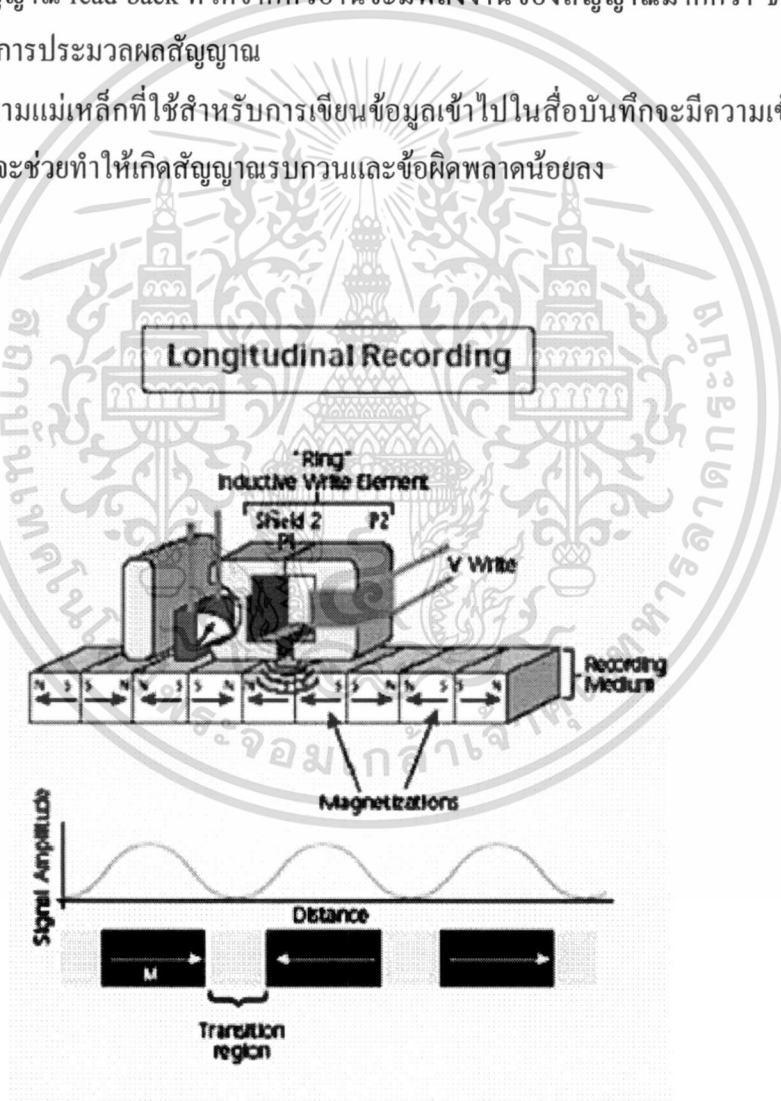
รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการเขียนและการอ่านของเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวนอน สภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึกจะขนานกับระนาบของจานบันทึก ซึ่งในปัจจุบันยังมีฮาร์ดดิสก์ไครฟ์บางรุ่นที่ยังใช้เทคโนโลยีการบันทึกแบบนี้อยู่ ด้วยความจุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในเทคโนโลยีแบบนี้มีจำกัด แต่ความต้องการความจุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้งขึ้นมา

2.1.2 ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง

รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการเขียนและการอ่านของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้งได้มีการเริ่มต้นค้นคว้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1984 [14] โดยที่

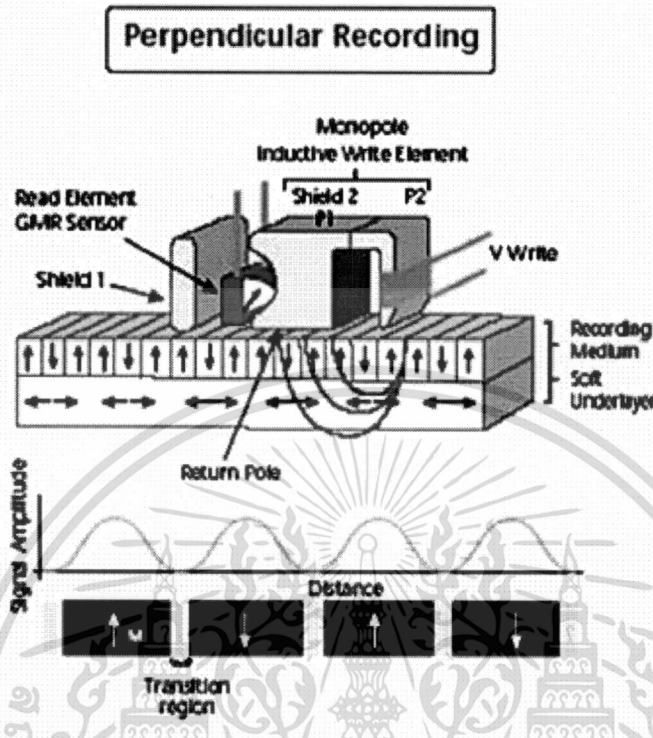
สภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึกจะตั้งฉากกับระนาบของงานบันทึก ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยีนี้ เพราะเทคโนโลยีนี้มีข้อดีกว่าเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวอน เช่น

- ความจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมหลายเท่า
- ความสามารถในการเขียนและการอ่านข้อมูลจะค่อนข้างอิสระจากความหนาของงานบันทึก ทำให้สามารถเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่ให้มากขึ้นได้โดยไม่ต้องกังวลเรื่องความเสถียรภาพเชิงความร้อน
- สัญญาณ read-back ที่ได้จากหัวอ่านจะมีพลังงานของสัญญาณมากกว่า ซึ่งทำให้ง่ายต่อการประมวลผลสัญญาณ
- สนามแม่เหล็กที่ใช้สำหรับการเขียนข้อมูลเข้าไปในสื่อบันทึกจะมีความเข้มมากกว่า ซึ่งจะช่วยให้เกิดสัญญาณรบกวนและข้อผิดพลาดน้อยลง



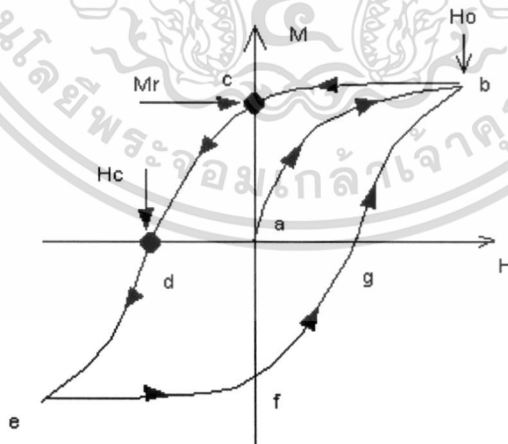
รูปที่ 2.1 กระบวนการเขียนและการอ่านของงานบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวอน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กระบวนการเขียนและการอ่านของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง [13]

2.2 ลูปฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loop)



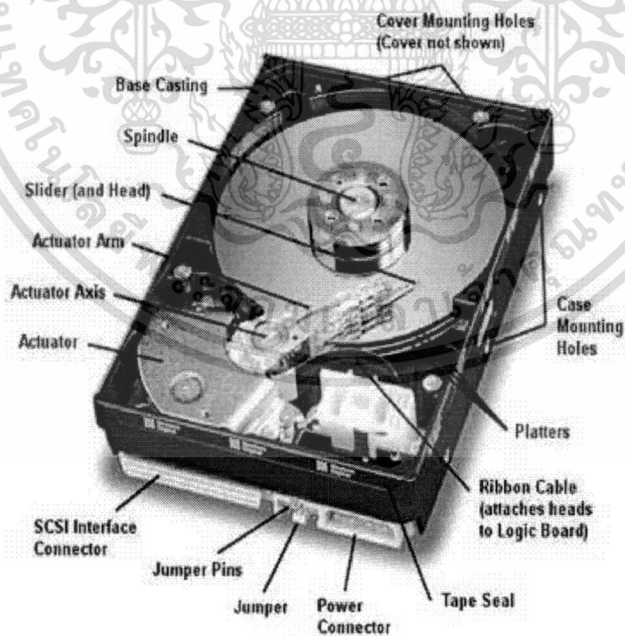
รูปที่ 2.3 ลูปฮิสเทอรีซิส [14], [15], [16]

รูปที่ 2.3 แสดงลูปฮิสเทอรีซิส [14], [15], [16] ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึก (medium magnetization) M และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กที่ใช้ (applied magnetic field) H จุด a หมายถึงจุดที่ $M = 0$ และ $H = 0$ เมื่อทำการเพิ่มสนามแม่เหล็ก H เข้าไปในสื่อบันทึก ทำให้ค่า M เพิ่มขึ้นตามเส้นทางในรูปจนกระทั่งมาถึงจุด b หลังจากนั้นไม่ว่า H จะเพิ่มขึ้นเท่าใด ค่า M ก็จะไม่เพิ่มขึ้นที่จุด b นี้เรียกว่า “จุดอิ่มตัว (saturation point)” เมื่อลดสนามแม่เหล็ก H จนมีค่าเท่ากับศูนย์ ค่า M จะเปลี่ยนแปลงไปตามเส้นทางไปจนถึงจุด c ซึ่งจุดนี้สภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึกจะมีค่าเท่ากับ M_r ซึ่งเรียกกันว่า “สภาพแม่เหล็กตกค้าง (remanent magnetization)” ถ้าวัดค่า H ลงอีก ค่า M จะลดลงเรื่อยๆจนมีค่าเป็นศูนย์ที่จุด d ซึ่งมีสภาพลบด้านแม่เหล็ก (coercivity) เท่ากับ H_c ในทางกลับกันถ้าวัด H ลงไปเรื่อยๆจนถึงจุด e จะทำให้สื่อบันทึกมีสภาพความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัวแบบลบ (negative saturation) หรือมีสภาพความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัวในทิศทางตรงกันข้าม เพราะฉะนั้น ค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึก M จะขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็ก H นั้นเอง ดังนั้นการจัดเก็บข้อมูลในสื่อบันทึกจะอาศัยหลักการของลูบิสเทอริซึส คือเมื่อสนามแม่เหล็ก H มีค่าเป็นศูนย์ สื่อบันทึกจะมีสภาพความเป็นแม่เหล็กได้เพียง 2 สถานะคือ $\pm M_r$ ซึ่งจะสอดคล้องกับการบันทึกข้อมูลดิจิทัลที่มี 2 สถานะเช่นกัน โดยที่ บิต 0 จะมีสภาพความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึกมีทิศทางไปในทิศทางหนึ่ง และบิต 1 จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับบิต 0

2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยที่โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ แผงควบคุมวงจรไฟฟ้า (Printed Circuit Board Assembly: PCBA) จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ แผงวงจรนี้จะติดอยู่กับฝาครอบด้านหลังของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณที่รับและส่งจากหัวแม่เหล็ก, spindle motor และตัวควบคุมการเคลื่อนไหว (actuator) และอีกส่วนหนึ่งคือ ฮาร์ดดิสก์แอสเซมบลี (Hard Disk Assembly: HAD) ในส่วนนี้จะปกคลุมของไดรฟ์ โดยส่วนประกอบในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีหน้าที่การทำงานดังต่อไปนี้

2.3.1 Platter

คือแผ่นกลมทำด้วยโลหะผสม (metal alloy disc) ที่เคลือบด้านบนไว้ด้วยสาร aluminum alloy หรือ glass sub state ส่วนแผ่นวงกลมหรือจานแข็งหรือเรียกว่า platter เป็นที่เก็บข้อมูลต่างๆ การบันทึกข้อมูลนั้นใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก คือแม่เหล็กนั้นมีสองขั้วคือขั้วเหนือและขั้วใต้ ข้อมูลที่ใช้เก็บบนสื่อบันทึกจะอยู่ในลักษณะ “0” และ “1” เหมือนกับข้อมูลดิจิทัลอื่นๆ ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ขนาดของ platter ที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่างๆ ไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 3.5 นิ้ว และในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละตัวนั้นจะมีจำนวนของ platter นี้ไม่เท่ากัน โดยทั่วไปแล้วยังมี Platter มากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะยิ่งมีความจุมากขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเชิงพื้นที่ด้วยว่าในหนึ่งตารางนิ้วสามารถเขียนจำนวนบิตลงไปได้เท่าไร

2.3.2 ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Areal density)

คือความหนาแน่นของจำนวนบิตข้อมูลต่อพื้นที่ขนาด 1 ตารางนิ้ว บน platter การบันทึกบิตข้อมูลลงบน platter นั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ความหนาแน่นเชิงแทร็ก (track density) ซึ่งมีหน่วยเป็นแทร็กต่อนิ้ว (track per inch: TPI) และความหนาแน่นเชิงเส้น (linear density) มีหน่วยเป็นบิตต่อตารางนิ้ว (bit per inch: BPI)

2.3.3 Spindle

Platter แต่ละอันจะถูกซอ้อนอยู่บนมอเตอร์ตัวหนึ่งที่เรียกว่า spindle motor ซึ่งจะทำหน้าที่หมุนแผ่น Platter นี้ไปรอบๆ ที่ความเร็วหนึ่ง มาตรฐานปัจจุบันนั้นอยู่ที่ความเร็วระดับ 7200 รอบต่อนาที บางรุ่นที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงเช่นเครื่องแม่ข่ายและลูกข่ายในบริษัทต่างๆ อาจหมุนด้วยความเร็วรอบสูงถึง 10,000 รอบต่อนาที หรือ 15,000 รอบต่อนาที

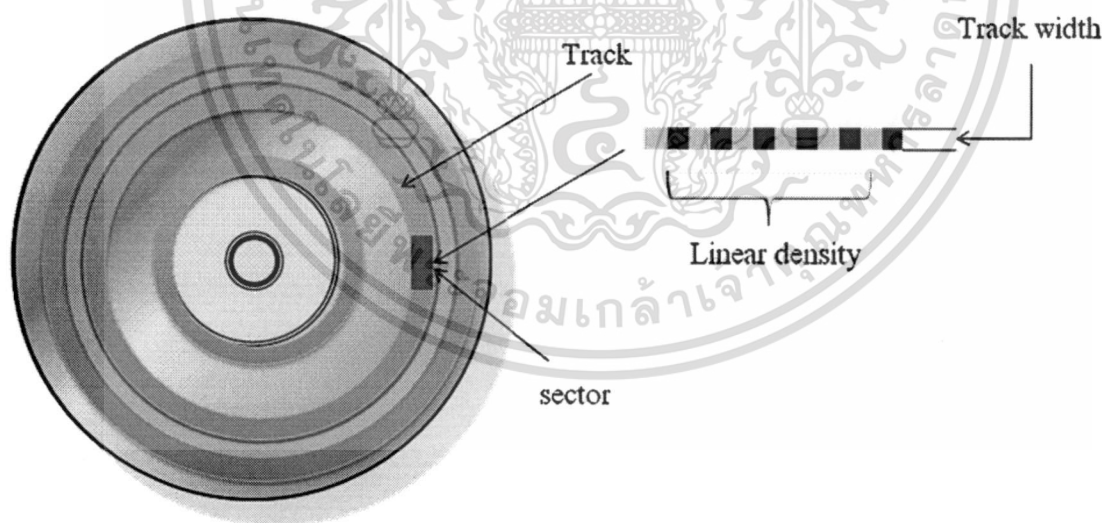
2.3.4 Actuator

อุปกรณ์ชิ้นนี้มีหน้าที่ขับเคลื่อนแขนของตัวเองที่เรียกว่า แขนหัวอ่าน/เขียน หรือ actuator arms ดังนั้นอุปกรณ์ชิ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดในตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพราะเป็นตัวควบคุมหัวอ่าน-เขียนในการเข้าถึงบริเวณบิตข้อมูลและความเร็วในการอ่าน/เขียนบิตข้อมูล

2.3.5 การเชื่อมโยง (interface)

มาตรฐานการเชื่อมโยงของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในอดีตจะใช้มาตรฐาน Integrated Drive Electronics (IDE) แต่ในปัจจุบันนี้จะใช้นิยมมาตรฐานการเชื่อมโยงที่เรียกว่า Serial Advanced Technology Attachment (SATA) ซึ่งสามารถถ่ายโอนข้อมูลได้ถึง 1 กิกะบิตต่อวินาที และมีมาตรฐานอื่นๆอีกเช่น Small Computer System Interface (SCSI) ซึ่งราคานั้นราคาแพงกว่า IDE หรือ SATA ด้วยเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ากว่า โดยส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (server) หรือแบบ work station ที่ต้องการประสิทธิภาพในการทำงานระดับสูง

2.4 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ข้อมูลจะถูกบันทึกลงในจานแม่เหล็กรูปวงกลมที่เรียกว่า “Platter” โดยที่แต่ละ platter จะมีสารแม่เหล็กเคลือบอยู่บนผิวทั้งสองด้าน

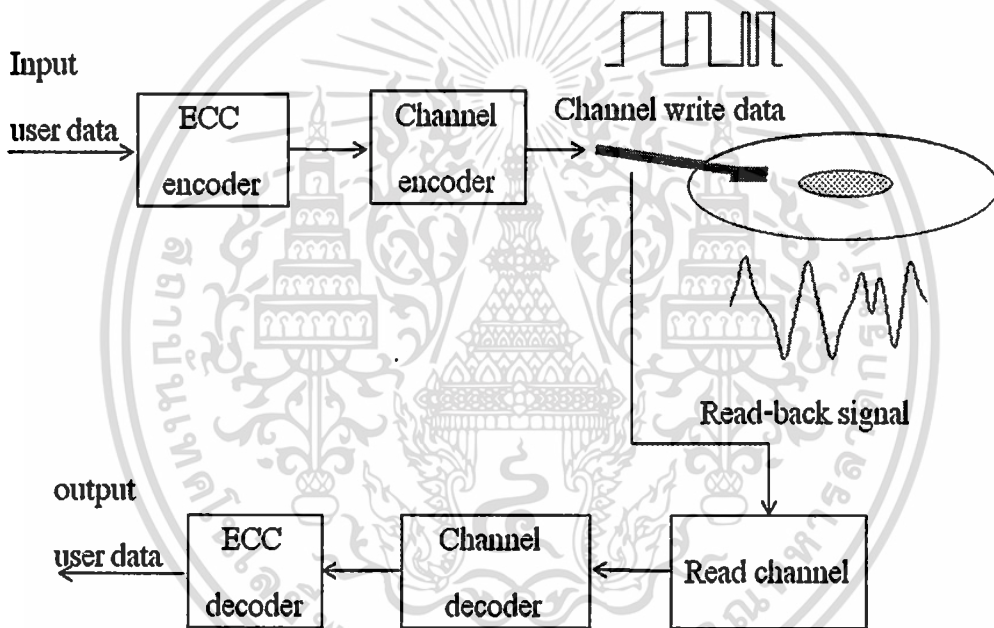
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และข้อมูลจะถูกจัดเก็บตามเส้นรอบวงที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันที่เรียกว่า “แทร็ก (track)” ซึ่งแต่ละแทร็กจะแบ่งออกเป็น “เซกเตอร์ (sector)” ดังนั้นความหนาแน่นเชิงพื้นที่ที่สามารถนิยามได้จาก

$$A_d = L_d T_d, \quad (2.1)$$

โดยที่ L_d คือความหนาแน่นเชิงเส้น และ T_d คือความหนาแน่นเชิงแทร็ก

2.5 แบบจำลองของระบบการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



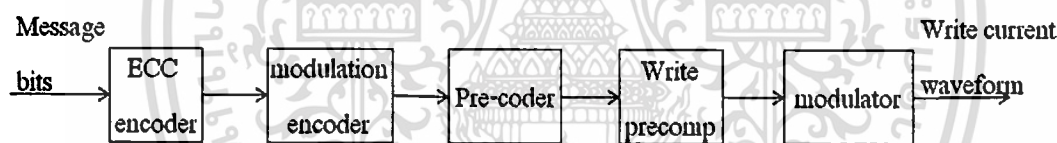
รูปที่ 2.6 แบบจำลองของระบบการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

รูปที่ 2.6 แสดงแบบจำลองของระบบการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เริ่มต้นจากบิตข่าวสาร (message bits) จะถูกเข้ารหัสโดยวงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (Error-Correction Code: ECC Encoder) ซึ่งทำการเพิ่มบิตข้อมูลแทรกเข้าไปเพื่อป้องกันการเกิดการผิดพลาดระหว่างส่งข้อมูล โดยทั่วไปจะนิยมใช้รหัส RS (Reed Solomon code) [17] และจะทำการเข้ารหัสอีกครั้งเพื่อปรับคุณสมบัติของข้อมูลให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เนื่องจากการบันทึกข้อมูลลงในสื่อบันทึกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของขั้วแม่เหล็กเมื่อบิตข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้ามีบิตข้อมูลเดิม

ติดกันมากเกินไปจะทำให้เสียการเข้ารหัสในการบันทึกข้อมูล ซึ่งรหัสที่นิยมใช้ในการเข้ารหัสคือ รหัส RLL (Run-Length Limited code) [18] หลังจากที่ผ่านการเข้ารหัส RLL แล้วบิตข้อมูลจะแปลงให้อยู่ในรูปของคลื่นกระแสไฟฟ้าเขียน (write current waveform) แล้วถูกป้อนไปยังหัวเขียนเพื่อทำการเขียนข้อมูลลงในสื่อบันทึก

ในส่วนของการอ่านข้อมูล หัวอ่านจะทำการอ่านข้อมูลจากสื่อบันทึก ซึ่งสัญญาณที่อ่านได้จะเรียกว่าสัญญาณ read-back จากนั้นจะถูกขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายก่อน (pre-amplifier) เนื่องจากสัญญาณที่อ่านได้มีขนาดของแอมพลิจูด (amplitude) เล็กมาก แล้วส่งไปยังช่องสัญญาณการอ่าน (read channel) จะประกอบไปด้วย วงจรกรองผ่านต่ำ (low-pass filter: LPF), วงจรซิกตัวอย่าง (sampler), อีควอลไลเซอร์ (equalizer) และวงจรตรวจหา (detector) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากวงจรตรวจหาจะถูกถอดรหัสด้วยวงจรถอดรหัสช่องสัญญาณ (channel decoder) สุดท้ายจะถูกถอดรหัสด้วยวงจรถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (ECC decoder) ออกมาเป็นบิตข่าวสาร

2.6 กระบวนการเขียนข้อมูล (write process)



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการเขียน

รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งในกระบวนการเขียนข้อมูลนี้ได้แบ่งหน้าที่การทำงานของเข้ารหัสของแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.6.1 วงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด

รหัสแก้ไขข้อผิดพลาดที่นิยมใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันคือ รหัส RS ซึ่งการเข้ารหัสในส่วนนี้ช่วยให้สามารถตรวจหาและแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระบบได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น เพราะว่ารหัส RS สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดหลายบิตติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาดจะทำการเข้ารหัสข้อมูลที่ระดับบล็อก แต่ละบล็อกจะมีความยาวของข้อมูล k บิต และได้ข้อมูลเอาต์พุตออกมาที่ระดับบล็อกซึ่งมีความยาว n บิต โดยที่อัตราส่วนของข้อมูลอินพุตและข้อมูลของเอาต์พุตจะเรียกว่า อัตรารหัส (code rate) นิยามได้จาก

$$R = \frac{k}{n}, \quad (2.2)$$

โดยที่ $R \leq 1$ ในส่วนของวงจรภาครับ วงจรถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาดจะทำหน้าที่ในการถอดรหัสข้อมูลที่ระดับบล็อกเช่นกัน ความสามารถในการแก้ไขข้อผิดพลาดของรหัส RS จะตรวจหาข้อผิดพลาดหลายบิตติดกันที่มีความยาวไม่เกิน $n - k$ บิต และสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้หลายบิตติดกันที่มีความยาวไม่เกิน $(n - k) / 2$ บิต

โดยทั่วไป ระบบการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัลในฮาร์ดดิสก์ใดที่จะยอมให้มีอัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate: BER) $< 10^{-9}$ เมื่อพิจารณาจากด้านขาเข้าของวงจรถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาดอย่างไรก็ตาม ยังพบว่าการใช้รหัสแก้ไขข้อผิดพลาดยังมีข้อเสียคือ จำนวนบิตเอาต์พุตจะมีมากกว่าจำนวนบิตอินพุต โดยข้อมูลบิตที่เกินมานั้นเรียกว่าบิตส่วนเกิน (redundant bit) เป็นข้อมูลที่ไม่ต้องการบันทึกลงในสื่อบันทึก ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการจัดเก็บข้อมูลในสื่อบันทึก

2.6.2 วงจรเข้ารหัสมอดูเลชัน (Modulation encoder)

วงจรเข้ารหัสมอดูเลชันในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก (magnetic recording system) จะทำหน้าที่ในการปรับคุณสมบัติของสัญญาณให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณ เพื่อลดความผิดเพี้ยน (distortion) ของสัญญาณ และยังช่วยในการกำหนดระยะเวลาห่างของบิตเปลี่ยนสถานะ (transition bit) ที่จะเขียนลงในสื่อบันทึก เพื่อลดผลกระทบของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (inter symbol interference: ISI) เนื่องจากข้อมูลที่เขียนลงในสื่อบันทึกมีรูปแบบเป็น NRZI (non-return-to-zero interleaved) โดยที่จะมีการเปลี่ยนสถานะเมื่อบิตที่กำลังเขียนเป็นบิต “1” ดังนั้นจึงต้องมีการเข้ารหัสมอดูเลชันเพื่อป้องกันการเกิดบิตข้อมูลเดิมเรียงติดกันมากเกินไป รหัสมอดูเลชันที่นิยมใช้ในฮาร์ดดิสก์คือ รหัส RLL ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดความยาวของบิตข้อมูลเดิมที่เรียงติดกัน โดยทั่วไปรหัส RLL จะถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ (d, k) เมื่อ d คือเลขจำนวนเต็ม ซึ่งกำหนดจำนวนของบิต 0 ที่น้อยที่สุดที่อยู่ระหว่างบิต 1 และ k คือเลขจำนวนเต็ม ซึ่งกำหนดจากบิต 0 ที่มากที่สุดที่อยู่ระหว่างบิต 1

2.6.3 วงจรเข้ารหัสก่อน (pre-coder)

วงจรเข้ารหัสก่อน จะทำหน้าที่ในการเข้ารหัสข้อมูลอีกลักษณะหนึ่งเพื่อช่วยป้องกันไม่ให้ลำดับข้อมูลที่เขียนลงไปบนสื่อบันทึกมี pattern ข้อมูลที่ไม่ต้องการ และช่วยเพิ่มระยะทางยูคลิด (euclidean distance) ของข้อมูลที่ถูกเข้ารหัส ซึ่งช่วยให้ BER ของระบบลดต่ำลง นอกจากนั้น ยังช่วยลดภาระการทำงานของอิกวอไลเซอร์ที่วงจรภาครับอีกด้วย วงจรเข้ารหัสก่อนที่นิยมใช้ในฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์จะมีฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) เช่น $P(D) = 1/(1 \oplus D)$ หรือ $P(D) = 1/(1 \oplus D^2)$ เป็นต้น โดยที่เครื่องหมาย \oplus คือตัวดำเนินการ exclusive OR (XOR) ส่วนรายละเอียดการออกแบบวงจรเข้ารหัสก่อนให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณ สามารถศึกษาได้จาก [19]

2.6.4 การชดเชยก่อนการเขียน (write pre-compensation)

การชดเชยก่อนการเขียน ทำหน้าที่ลดผลกระทบที่เกิดจากการเลื่อนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear transition shift: NLTS) โดยการคำนวณหาค่าปริมาณการเลื่อนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งความรุนแรงของ NLTS จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลที่ทำการบันทึก เมื่อเกิด NLTS ขึ้นระหว่างการเขียนบิตเปลี่ยนสถานะลงไปบนสื่อบันทึก ตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะบิตตัวปัจจุบันจะถูกเลื่อนเข้ามาหาตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะบิตตัวก่อนหน้า ดังนั้น สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการทำการหน่วงเวลา (time delay) ในการเขียนบิตเปลี่ยนสถานะลงไปบนสื่อบันทึกเพื่อเป็นการชดเชยผลกระทบที่เกิดจาก NLTS คือถ้าให้ ε แทนปริมาณการเลื่อนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะ จะได้ว่า หลังจากผ่านการชดเชยก่อนการเขียนตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะจะถูกเลื่อนไป ε และเมื่อเกิดเหตุการณ์ NLTS ทำให้ตำแหน่งของการเปลี่ยนสถานะเลื่อนกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งที่ต้องการ วิธีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการเลื่อนตำแหน่งมีหลายวิธี เช่น วิธีการพิจารณารูปร่างสัญญาณพัลส์ที่ถูกสกัดออกมา (extracted pulse shape) [20] หรือวิธีในโดเมนความถี่ [14] เป็นต้น

2.6.5 วงจรมอดูเลเตอร์ (modulator)

วงจรมอดูเลเตอร์ จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลบิตให้อยู่ในรูปของคลื่นกระแสไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยม หรือเรียกว่ากระแสเขียน จากนั้นกระแสเขียนจะถูกป้อนไปยังขดลวดของหัวเขียน (write head) ทำให้เกิดเป็นสนามเขียนแม่เหล็ก (magnetic write field) ตรงบริเวณช่องว่างระหว่างสื่อบันทึกกับหัวเขียน โดยทั่วไปสนามเขียนแม่เหล็กจะต้องมีขนาดหรือความเข้มมากกว่าสภาพลบล้างแม่เหล็กของสื่อบันทึก

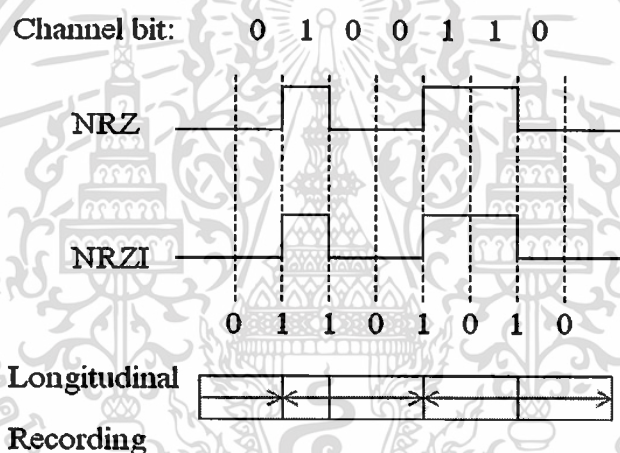
เพื่อที่จะสามารถทำให้สื่อบันทึกตรงบริเวณนั้นมีความเป็นแม่เหล็กตามทิศทางของสนามเขียนแม่เหล็กที่ป้อนเข้าไป

2.6.6 รูปแบบข้อมูล

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแบบรูปสี่เหลี่ยมสำหรับระบบบันทึกแบบแม่เหล็ก มี 2 แบบคือ

1) NRZ (non-return-to-zero) โดยที่แอมพลิจูดของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจะบอกให้เห็นถึงบิตไบนารี กล่าวคือแอมพลิจูดสูงจะใช้แทนบิตข้อมูล “1” และแอมพลิจูดต่ำใช้แทนบิตข้อมูล “0”

2) NRZI (non-return-to-zero) โดยที่บิตข้อมูล “1” หมายถึงการเปลี่ยนสถานะของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า และบิตข้อมูล “0” หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนสถานะของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างบิตข้อมูลแบบ NRZ และ NRZI

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างบิตข้อมูลแบบ NRZ และ NRZI เมื่อบิตข้อมูลช่องสัญญาณ (channel bit) คือข้อมูลจริงที่ต้องการเขียนลงในสื่อบันทึก จะเห็นได้ว่าบิตข้อมูลช่องสัญญาณและบิตข้อมูลแบบ NRZ จะเหมือนกัน ซึ่งต่างจากบิตข้อมูลแบบ NRZI อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ระบบการประมวลผลสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ บิตข้อมูลแบบ NRZI มักถูกนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะการเกิดสัญญาณ read-back กล่าวคือ เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่มาถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนสถานะจะเกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจะได้สัญญาณพัลส์ที่เรียกว่าสัญญาณพัลส์การเปลี่ยนสถานะ (transition pulse) เหมือนการนำเอาบิตข้อมูล 1 มาคูณกับผลตอบสนองการเปลี่ยนสถานะ (transition response) ของ

ช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงนิยมแทนตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนสถานะของสนามแม่เหล็กในสื่อบันทึกนี้ด้วย บิต 1 และแทนตำแหน่งที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะของสนามแม่เหล็กในสื่อบันทึกด้วยบิต 0

2.7 กระบวนการอ่าน (read process)

ในกระบวนการอ่านข้อมูล หัวอ่านจะทำการตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) บริเวณตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนสถานะของสภาพความเป็นแม่เหล็ก เป็นผลทำให้เกิดสัญญาณพัลส์แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำคลวดตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) สำหรับบริเวณที่มีการเปลี่ยนสถานะของสนามแม่เหล็ก หัวอ่านจะให้สัญญาณพัลส์แรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่าสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะ เนื่องจากกระบวนการอ่านข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ใคร่ที่สามารถประมาณได้ว่ามีคุณลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้น เราจึงสามารถแสดงสัญญาณ read-back ให้อยู่ในรูปของผลรวมของสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะที่สอดคล้องกับบิตเปลี่ยนสถานะได้ โดยที่สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะที่ติดกันจะมีเครื่องหมายประจุตรงกันข้ามกัน

2.7.1 ประเภทของหัวอ่าน

หัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ใคร่จะทำหน้าที่แปลงฟลักซ์แม่เหล็กให้เป็นแรงดันไฟฟ้าในรูปของสัญญาณ read-back หัวอ่านที่ใช้งานมีหลายประเภท เช่น

- 1) หัวแม่เหล็กแบบเฟอร์ไรต์ (ferrite) เริ่มนำมาใช้งานในช่วงปี ค.ศ. 1970 สามารถทำงานได้ดีเมื่อใช้ทำเป็นหัวเขียน แต่เมื่อนำมาใช้ทำเป็นหัวอ่านจะทำงานได้ไม่ดี เพราะว่สัญญาณ read-back ที่ได้จะมีแอมพลิจูดต่ำ
- 2) หัวแม่เหล็กแบบ MR (magneto-resistive) เริ่มนำมาใช้งานในช่วงปี ค.ศ. 1990 สามารถทำงานได้ดีเมื่อนำมาใช้เป็นหัวอ่าน เพราะว่หัวอ่านแบบ MR มีความไว (sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กทำให้สัญญาณ read-back ที่ได้มีขนาดของแอมพลิจูดสูง
- 3) หัวแม่เหล็กแบบ GMR (giant magneto-resistive) เริ่มนำมาใช้งานในช่วงปี ค.ศ. 1997 สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าหัวอ่านแบบ MR
- 4) หัวแม่เหล็กแบบ TMR (tunneling magneto-resistive) [22] ถือว่เป็นหัวแม่เหล็กที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพราะว่มีประสิทธิภาพดีกว่าหัวแม่เหล็กแบบอื่น ๆ โดยทั่วไป หัวแม่เหล็กยิ่งคี่ยิ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบดีขึ้น

2.7.2 แบบจำลองสัญญาณอ่านกลับ (read-back signal)

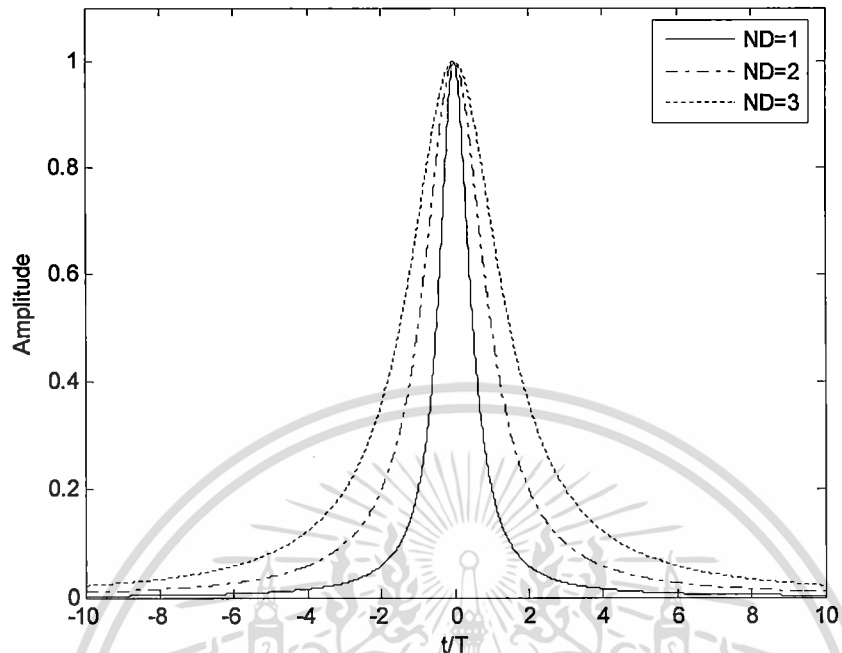
ในการอ่านข้อมูล หัวอ่านจะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆตามแทร็คของสื่อบันทึก และเมื่อตำแหน่งใดมีการเปลี่ยนสถานะหรือมีการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะได้เป็นสัญญาณพัลส์ออกมาเป็นผลตอบสนองการเปลี่ยนสถานะ $g(t)$ โดยจะมีค่าเป็นบวกหรือลบตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะสำหรับระบบการบันทึกแบบแวนอนจะเรียกว่า สัญญาณพัลส์ Lorentzian สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ [23]

$$g(t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{2t}{PW_{50}}\right)^2}, \quad (2.3)$$

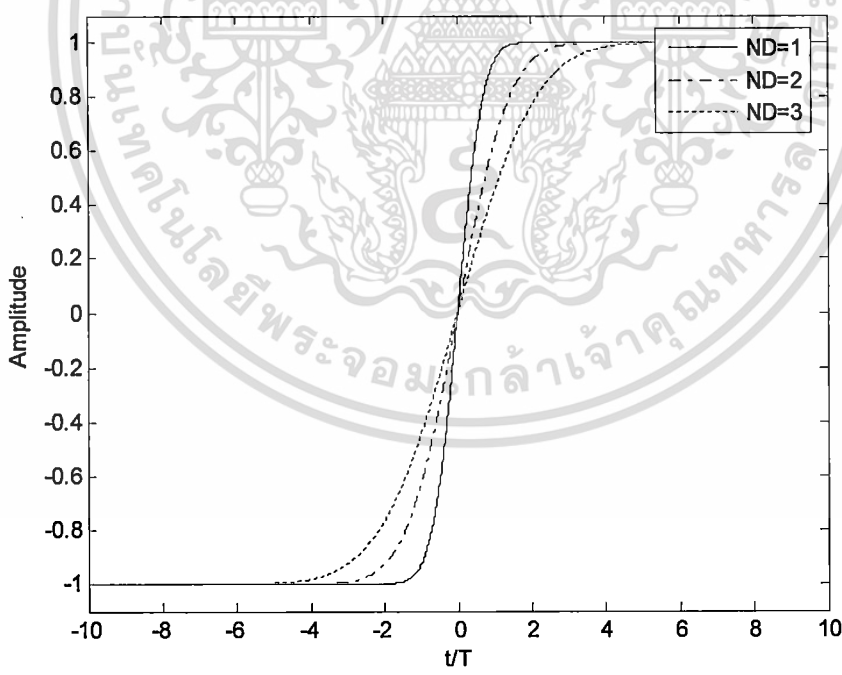
โดยที่ PW_{50} คือความกว้างของสัญญาณพัลส์ $g(t)$ วัดที่บริเวณตำแหน่งที่สัญญาณพัลส์มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุด ส่วนสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะสำหรับการบันทึกแบบแนวตั้งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้ [21]

$$g(t) = \operatorname{erf}\left(\frac{2t\sqrt{\ln 2}}{PW_{50}}\right), \quad (2.4)$$

เมื่อ $\ln(\cdot)$ คือลอการิทึมธรรมชาติ (natural logarithm), $\operatorname{erf}(\cdot)$ คือฟังก์ชันข้อผิดพลาด (error function) ซึ่งนิยามโดย $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ และ PW_{50} คือความกว้างของพัลส์ $g(t)$ วัดบริเวณตำแหน่งที่มีสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) แบบแฉวนอน



(ข) แบบแนวตั้ง

รูปที่ 2.9 สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะสำหรับการบันทึก (ก) แบบแฉวนอน, (ข) แบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงผลตอบสนองการเปลี่ยนสถานะสำหรับการบันทึกแบบแวนอนและแบบแนวตั้ง ที่ระดับความหนาแน่นของการบันทึกแบบนอร์มอลไลซ์ (normalized recording density: ND) [22] ต่างๆ จากรูปพบว่าเมื่อ ND มีค่าเพิ่มขึ้นสัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะของทั้งสองระบบจะครอบคลุมช่วงเวลาหลายบิตเซลล์ (bit cell) มากขึ้น ซึ่งทำให้ ISI มีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากโอกาสที่สัญญาณพัลส์เปลี่ยนสถานะที่อยู่ใกล้กันมีโอกาสซ้อนทับกันสูง ซึ่งความหนาแน่นของการบันทึกแบบนอร์มอลไลซ์จะถูกนิยามโดย

$$ND = \frac{PW_{50}}{T}, \quad (2.5)$$

โดยที่ T คือคาบเวลาของบิตข้อมูลหนึ่งบิต หรือเรียกว่าบิตเซลล์ ในทางปฏิบัติค่า ND นี้จะเป็นตัวบ่งบอกว่าบริเวณ PW_{50} สามารถที่จะจัดเก็บข้อมูลได้จำนวนกี่บิต ดังนั้นถ้าให้ T เป็นค่าคงที่ เมื่อ PW_{50} หรือ ND เพิ่มขึ้นก็หมายความว่าฮาร์ดดิสก์ใดที่สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามที่กล่าวมาเป็นเพียงผลตอบสนองการเปลี่ยนสถานะครั้งเดียวเท่านั้น ในกรณีที่หัวอ่านเคลื่อนที่มายังบริเวณที่มีการเปลี่ยนสถานะติดกันสองครั้ง จะเรียกสัญญาณพัลส์ของการเปลี่ยนสถานะนี้ว่าสัญญาณพัลส์ไคบิต (dibit pulse) หรือผลตอบสนองไคบิต (dibit response) ซึ่งนิยามได้ดังสมการนี้

$$m(t) = g(t) - g(t-T), \quad (2.6)$$

ตัวอย่างของผลตอบสนองการเปลี่ยนสถานะไคบิตแสดงดังรูปที่ 2.10 เมื่อทำการแปลงฟูเรียร์ที่ต่อเนื่องทางเวลากับสัญญาณ $m(t)$ จะได้ผลตอบสนองเชิงความถี่ของ $m(t)$ สำหรับระบบบันทึกแบบแวนอนคือ

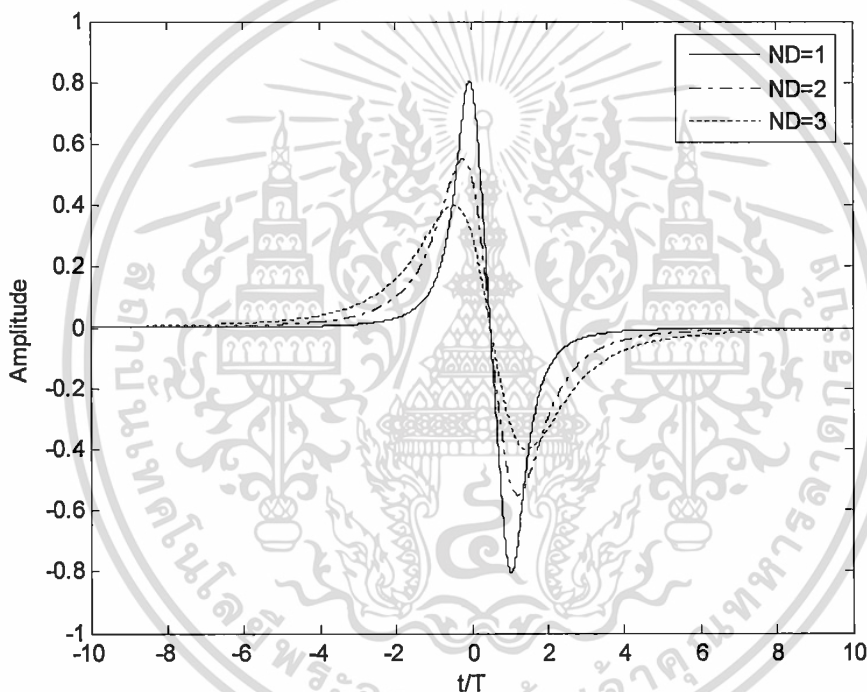
$$M(\Omega) = \exp\{-\pi|\Omega|ND\}(1 - \exp\{-j2\pi\Omega\}), \quad (2.7)$$

ในขณะที่ผลตอบสนองเชิงความถี่ของ $m(t)$ สำหรับระบบบันทึกแบบแนวตั้งคือ

$$M(\Omega) = \frac{T}{j\pi\Omega} \exp\left\{-\frac{\pi^2\Omega^2 ND^2}{\ln(16)}\right\} (1 - \exp\{-j2\pi\Omega\}), \quad (2.8)$$

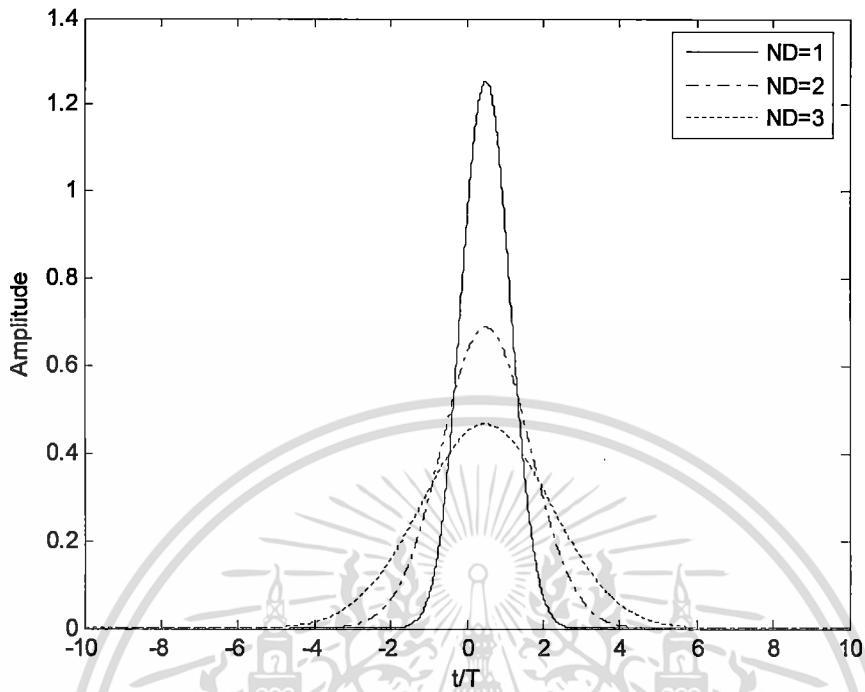
เมื่อ $\Omega = fT$ คือความถี่แบบนอร์มอลไลซ์ (normalize frequency)

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างของผลตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณพัลส์ไคบิต สำหรับการบันทึกแบบแวนอนและแบบแนวตั้ง ตามลำดับ เมื่อเพิ่มค่า ND รูปร่างของผลตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณพัลส์ไคบิตทั้งสองแบบจะถูกบีบให้มาอยู่ตรงบริเวณความถี่ต่ำ นอกจากนั้นยังพบว่าช่องสัญญาณของการบันทึกแบบแวนอนจะมีสเปกตรัมค่าศูนย์ (null spectral) ณ ตำแหน่งที่ความถี่ $f=0$ นั่นคือไม่มีส่วนประกอบของไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะที่ช่องสัญญาณของการบันทึกแบบแนวตั้งมีส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรง

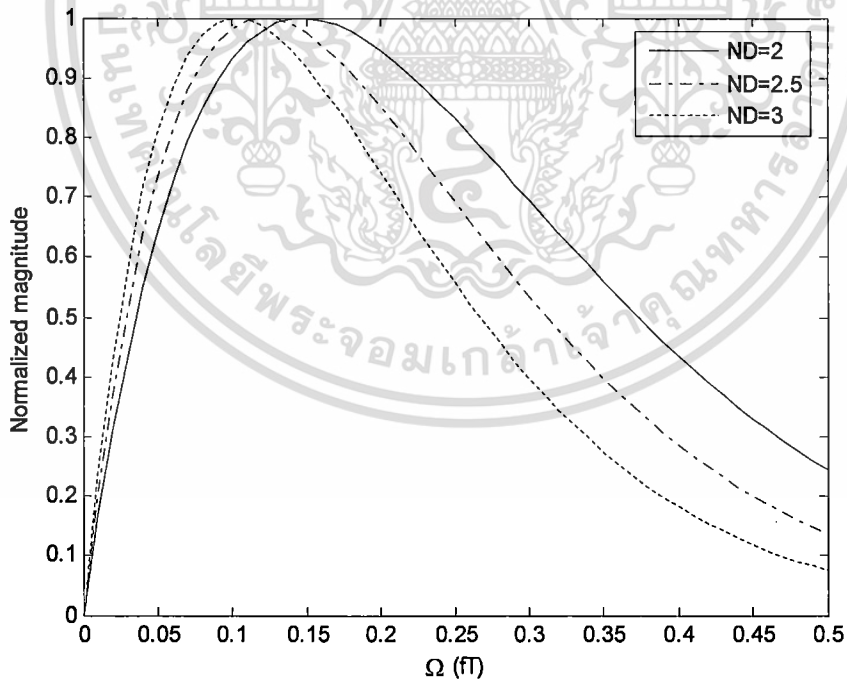


รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองไคบิต สำหรับการบันทึก (ก) แบบแวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองไดเบิต สำหรับการบันทึก (ข) แบบแนวตั้ง



รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณพัลส์ไดเบิต สำหรับการบันทึก (ก) การบันทึกแบบ
แนวอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

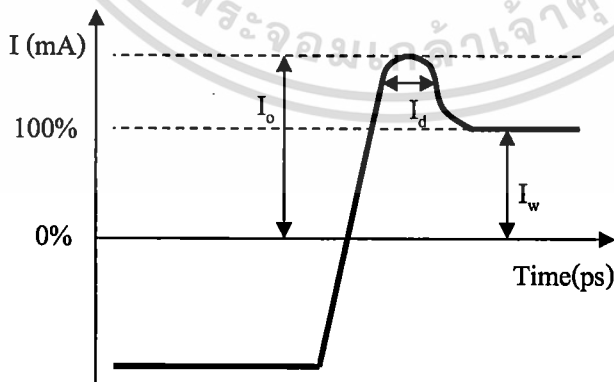
บทที่ 3

กระแสเขียนในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก

ในบทนี้จะกล่าวถึง พารามิเตอร์ของกระแสเขียนที่วงจรถายก่อน (pre-amplifier) และผลกระทบของพารามิเตอร์กระแสเขียนที่มีต่อระบบที่ส่งผลให้เกิดผลกระทบในระบบ คือ การลบล้างบางส่วน of สนามแม่เหล็กย้อนกลับ (return field-induced partial erasure: RFPE) และการเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear transition shift: NLTS) รวมไปถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเขียนและอัตราผิดพลาด (bit error rate: BER)

3.1 รูปสัญญาณกระแสเขียนที่วงจรถายก่อน

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างรูปสัญญาณกระแสเขียนที่วงจรถายก่อน [24] ในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กที่ป้อนให้กับหัวเขียน วงจรพีเอมพีของฝั่งเขียนจะทำหน้าที่แปลงบิตข้อมูลให้อยู่ในรูปของกระแสเขียนและส่งผ่านไปยังขดลวดของหัวเขียน ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นสนามแม่เหล็กเขียน บริเวณช่องว่าง (gap) ระหว่างสื่อบันทึกกับหัวบันทึกในการบันทึกข้อมูล [16] กระแสเขียนจะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 3 ตัวแปร ได้แก่ แอมพลิจูดกระแส (write current amplitude: I_w), ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current overshoot: I_o) และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current duration: I_d)



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างสัญญาณกระแสเขียนที่วงจรถายก่อน

3.1.1 แอมพลิจูดกระแสเขียน

แอมพลิจูดกระแสเขียน (write current amplitude: I_w) คือ ระดับสัญญาณกระแสเขียนที่วัดจาก 0 – 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นกระแสที่จ่ายไปเพื่อลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกหรือทำให้มีการเปลี่ยนขั้วของบิตข้อมูลตามแอมพลิจูดกระแสเขียนที่จ่ายให้กับหัวเขียน สนามแม่เหล็กเขียนที่ออกมาจากหัวเขียนต้องมีขนาดหรือความเข้มมากกว่าสภาพลบล้างความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึก (demagnetization) ถ้าแอมพลิจูดกระแสเขียนต่ำกว่าจะทำให้สภาพความเป็นแม่เหล็กยังคงหลงเหลืออยู่ เป็นผลทำให้ทิศทางของขั้วของเกรนแม่เหล็ก (magnetic grain) ในสื่อบันทึกไม่เป็นไปตามที่ควรจะเป็น และเมื่อแอมพลิจูดกระแสเขียนสูงขึ้นทำให้ขั้วของเกรนแม่เหล็กในสื่อบันทึกมีทิศทางที่ควรจะเป็น และยังมีผลทำให้สนามแม่เหล็กเขียนที่ถูกสร้างขึ้นจากหัวเขียนนั้นไปกระทบกับแทร็กข้างเคียง เมื่อหัวอ่าน อ่านสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากแทร็กข้างเคียงกลับมาด้วย หรือที่เรียกว่า adjacent track interference (ATI) [7]

3.1.2 ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน

ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current overshoot: I_o) คือ ระดับสัญญาณกระแสเขียนที่วัดจาก 0 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดสูงสุดของแอมพลิจูดที่แสดงในรูปที่ 3.1 จะมีผลต่อการเปลี่ยนขั้ว และจำนวนของเกรนที่เปลี่ยนขั้ว ถ้าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำ จะทำให้ใช้เวลานานในการสวิตช์ขั้ว จำนวนเกรนที่เปลี่ยนขั้วจะมีน้อย แต่ที่ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนสูง ทำให้การสวิตช์ขั้วเร็วขึ้น จำนวนเกรนที่เปลี่ยนขั้วมีมากขึ้น ทำให้สัญญาณอ่านกลับ (read-back signal) ดีขึ้นตามไปด้วย [4], [5], [6] อย่างไรก็ตาม ถ้าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนสูง ทำให้เกิดการเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะ เป็นผลทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างบิต (inter-symbol interference: ISI) [9] และการเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear transition shift: NLTS) [4], [5]

3.1.3 ช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน

ช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน (write current duration: I_d) คือ ความกว้างของช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน วัดที่บริเวณตั้งแต่แอมพลิจูดระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของจุดสูงสุด จะมีผลต่อการเข้าสู่แอมพลิจูดกระแสเขียนที่ค่าเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนแคบจะทำให้การเข้าสู่ค่าแอมพลิจูดกระแสเขียนได้เร็วขึ้น แต่ถ้าเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนกว้างจะทำให้การเข้าสู่แอมพลิจูดกระแสเขียนได้ช้าลง แต่ในทางปฏิบัติจะไม่นำเวลาของส่วน

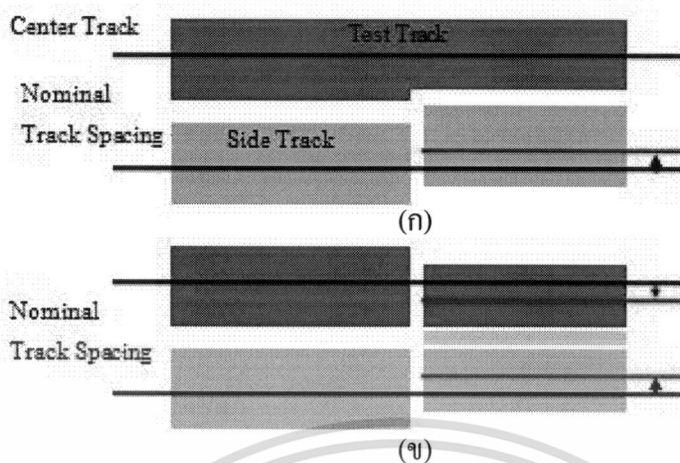
พุ่งเกินกระแสเขียนที่มีขนาดกว้างมาใช้งานเนื่องจากจะมีผลข้างเคียงทำให้หัวเขียนยื่นเข้าใกล้สื่อบันทึกมากขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อระบบโดยรวม [26]

3.2 ผลกระทบของกระแสเขียน

สมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กจะเป็นตัวชี้วัดความจุและคุณภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของระบบจะเกิดจากกระบวนการเขียนคือ หัวเขียนยึดเข้าใกล้สื่อบันทึกมากจนทำให้สนามแม่เหล็กที่ถูกปล่อยออกจากหัวเขียน ไปกระทบกับบิตและแทร็กข้างเคียง ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลบริเวณรอบๆบิตที่เขียนผิดเพี้ยน ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการอ่าน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความจุและสมรรถนะของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.2.1 การบีบแทร็ก (Squeezed)

การ squeezed คือการบีบขนาดของแทร็กให้เล็กลงซึ่งในกระบวนการเขียน ขนาดของแทร็กจะมีขนาดไม่เท่ากันตลอดทั้งแทร็ก โดยจะมีบางส่วนที่ซ้อนทับกันระหว่างแทร็กที่กำลังเขียนและแทร็กข้างเคียง ดังนั้นจึงต้องมีการนำการบีบแทร็กมาจำลองการถูกรบกวนจากแทร็กข้างเคียง โดยการบีบแทร็กแบ่งออกเป็น 2 วิธี วิธีแรกจะเรียกว่า DC – squeezed คือการเลื่อนแทร็กข้างเคียง (side track) เข้าหาแทร็กที่กำลังเขียน (test track) ส่วนวิธีที่ 2 จะเรียกว่า AC – squeezed คือการเลื่อนแทร็กข้างเคียงและแทร็กที่กำลังเขียนเข้าหากัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.2 โดยที่แถบสีน้ำเงินเป็นเป็นแทร็กที่กำลังเขียน, แถบสีเทาเป็นแทร็กข้างเคียง และเส้นสีดำตรงกลางทั้งสองคือเส้นกึ่งกลางแทร็ก (center track) ในกรณีที่ไม่มีการบีบแทร็ก ส่วนเส้นสีแดงคือเส้นกึ่งกลางแทร็กในกรณีที่เกิดการบีบแทร็ก ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์การทดสอบสมรรถนะของระบบในแง่ของการถูกรบกวนจากแทร็กข้างเคียง จะนิยมใช้การบีบแทร็กแบบ AC – squeezed เนื่องจากในการทำงานจริงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกรบกวนจากแทร็กข้างเคียงทั้ง 2 ข้าง [7]



รูปที่ 3.2 การบีบแทร็กแบบ (ก) DC – squeezed และ (ข) AC – squeezed

3.2.2 การลบล้างบางส่วนของสนามแม่เหล็กย้อนกลับ (Return field-induced partial erasure: RFPE)

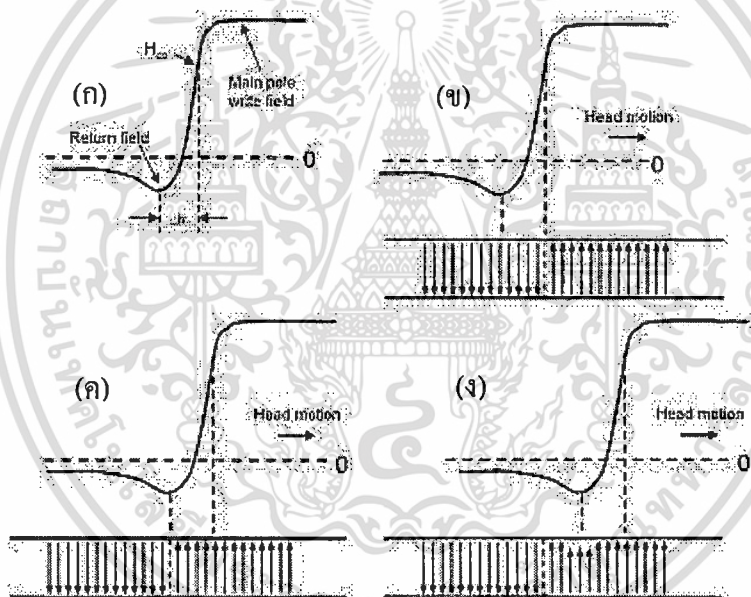
ในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง จะมีส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กที่อยู่ใต้ trailing shield (TS) เป็นทิศทางตรงกันข้ามของ main pole (MP) ทำให้บิตข้อมูลมีทิศทางของสนามแม่เหล็กกลับด้านจาก TS ทันทีหลังการเริ่มต้นเขียนจาก MP แม้ว่าขนาดของ TS จะใหญ่กว่า MP มากบน air-bearing surface (ABS) แต่ฟลักซ์ (flux) ย้อนกลับโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณที่จำกัดใกล้ๆ MP ตลอดช่องว่างการเขียน อย่างไรก็ตามสนามแม่เหล็กย้อนกลับที่อยู่ใต้ TS จะมีค่าสูง โดยเฉพาะที่ความสูงในการบิน (fly height) ต่ำหรือที่แอมพลิจูดของกระแสเขียนสูง ในกรณีนี้สนามแม่เหล็กย้อนกลับอาจจะลบล้างกับบิตข้อมูลที่เขียนลงไปใหม่บางส่วน เป็นสาเหตุของ RFPE การเกิด RFPE ได้ใช้แบบจำลองของ Stoner-Wohlfarth field สามารถนิยามได้ดังสมการ

$$H_{SW} = \left[(H_x^2 + H_z^2)^{1/3} + H_y^{2/3} \right]^{3/2} \cdot \text{sign}(H_y), \quad (3.1)$$

โดยที่ H_x และ H_y คือส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กใน downtrack และ cross-track ตามลำดับ H_y คือส่วนประกอบสนามแม่เหล็กในแนวตั้ง เมื่อกระแสเขียนเพิ่มขึ้น ไม่เพียงแต่สนามแม่เหล็กในการบันทึกจาก MP จะเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่สนามแม่เหล็กย้อนกลับก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ข้อสังเกตที่นอกเหนือจากการเพิ่มค่ากระแส นั้น Stoner-Wohlfarth field จะมีค่าสูงสุดจากจุดเริ่มต้น ไปถึงจุดอิมิตัว

ของ MP ในทางกลับกันสนามแม่เหล็กย้อนกลับยังคงมีค่าเพิ่มขึ้น RFPE ยังเป็นตัวชี้วัดถึงสมรรถนะของการบันทึก เช่น การเขียนทับกลับ (reverse overwrite) และอัตราส่วนสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio: SNR) จะมีผลดีขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการเพิ่มค่ากระแสเขียน แต่เสี่ยงต่อการเพิ่ม RFPE อย่างมาก

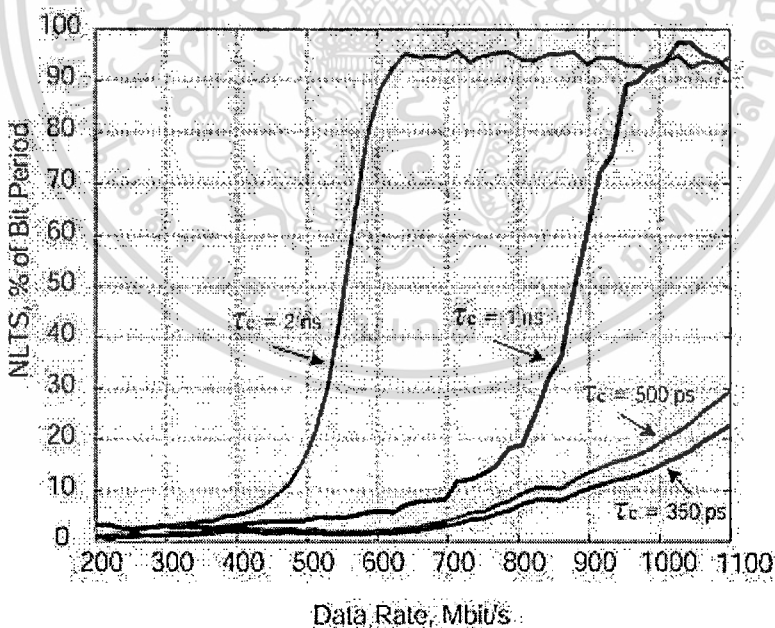
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการเกิด RFPE ของช่วงเวลาในกระบวนการบันทึก ข้อสังเกตเนื่องจากความกว้างของช่องว่างการเขียน (write gap) มันมีเวลาจำกัดสำหรับสนามย้อนกลับไปยังบิตที่เพิ่งเขียนใหม่ ซึ่งประมาณค่าเท่ากับ g/v โดยที่ g คือช่องว่างการเขียน และ v คือความเร็วของสื่อบันทึก ยิ่งไปกว่านั้น เหตุการณ์สนามย้อนกลับไปยังบิตที่เพิ่งเขียนใหม่ RFPE อาจเกิดหรือไม่เกิดก็ได้ ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด (magnitude) ของสนามย้อนกลับและสนาม nucleation สื่อบันทึก (media nucleation field) [3]



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเกิด RFPE (ก) สนามเขียน (write field) และสนามย้อนกลับ (ข) การเปลี่ยนสถานะกำหนดจากบริเวณที่สนามหัวเขียนเท่ากับค่า coercivity ของสื่อบันทึก (ค) บิตที่เพิ่งเขียนใหม่เริ่มต้นมีสนามย้อนกลับ แต่ยังไม่เกิด RFPE (ง) หัวเขียนเคลื่อนที่มาจากการเปลี่ยนสถานะ สนามลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กภายในบิตแรงขึ้น ซึ่งความแรงของสนามย้อนกลับนี้ทำให้เกิด RFPE

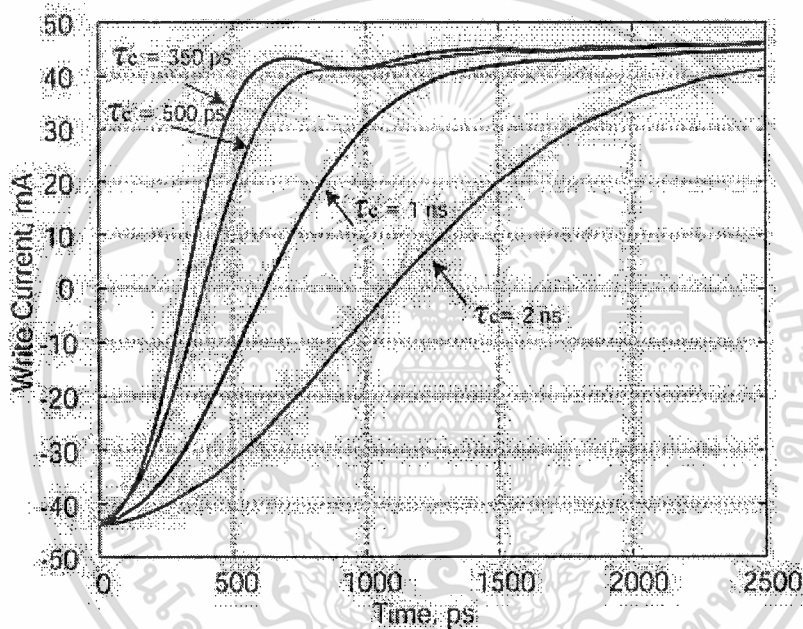
3.2.3 การเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear transition shift: NLTS)

กระแสเขียนที่ไม่มีส่วนประกอบของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนทำให้หลีกเลี่ยงความผิดพลาดของไทมมิ่ง (timing) สัญญาณกระแสเขียนจะวัดที่เอาต์พุตของวงจรขับเคลื่อนเขียน (write driver) หรือที่เอาต์พุตของวงจรขยายก่อน เวลาที่ต้องการสำหรับกระแสเขียนเพื่อเพิ่มการเข้าสู่สภาวะคงตัวมี rise time (τ_c) ของกระแส 10–90 เปอร์เซ็นต์ ค่า τ_c และเวลาการพลิกกลับสนามแม่เหล็กจากหัวเขียน (intrinsic head magnetic field reversal time: τ_h) เป็นตัวกำหนดค่า rise time ของสนามแม่เหล็กหัวเขียน (head field rise time) ซึ่งสามารถประมาณค่าโดย $\tau = \sqrt{\tau_h^2 + \tau_c^2}$ ค่า τ_h (ประมาณ 650 นาโนวินาที) วัดโดยใช้วิธี footprint method ดังนั้นสนามแม่เหล็กจากหัวเขียนเข้าใกล้แทร็กนั้น กระแสเขียนจะมี τ_c มากกว่าหรือเท่ากับ 1 นาโนวินาที ถ้าสนามแม่เหล็กจากหัวเขียนไม่เข้าสู่สภาวะคงตัวก่อนเกิดการพลิกกลับถัดไป ทำให้การเปลี่ยนสถานะที่ถูกบันทึกจะเกิดความผิดพลาดของไทมมิ่ง ความผิดพลาดของไทมมิ่งนี้เป็นผลให้เกิด NLTS อัตราข้อมูลสูงสุดสามารถทำได้ τ_c ประมาณค่าจากการเพิ่มขึ้นของ NLTS การเพิ่มขึ้นสูงกว่า 15–20 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนสถานะความถี่สูงจะถูกเขียนได้ไม่ดี



รูปที่ 3.4 สัญญาณกระแสเขียนที่เกิด NLTS จะขึ้นอยู่กับอัตราข้อมูลสำหรับค่า τ_c ที่ต่างกัน

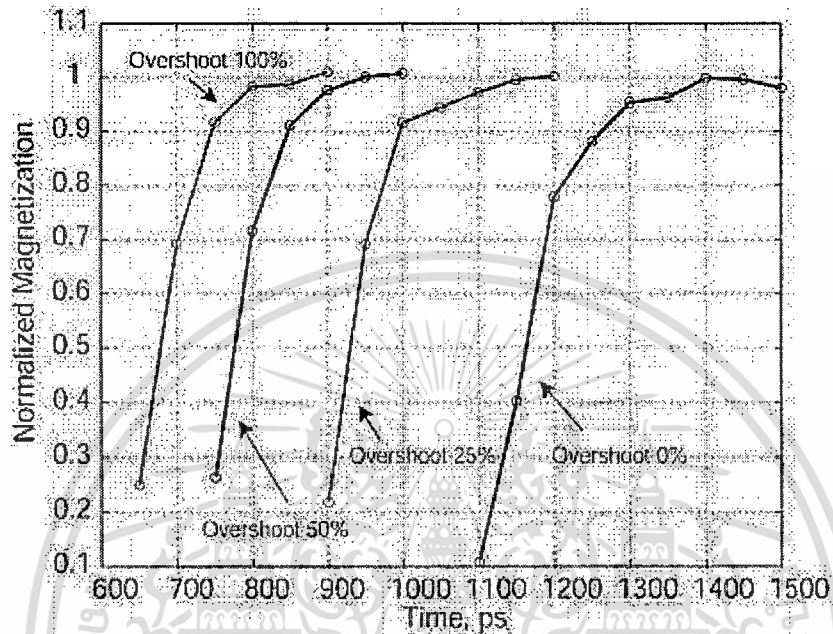
การวัด NLTS จะขึ้นอยู่กับอัตราข้อมูลสำหรับค่า τ_c ที่ต่างกันแสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับค่า τ_c กว้าง เฟอร์เซ็นต์ของการเกิด NLTS ลดลงที่อัตราข้อมูลช้ามาก ซึ่งเป็นคุณภาพที่สอดคล้องกับสัญญาณกระแสเขียนดังรูปที่ 3.5 ค่า NLTS กำหนดจาก 3 ปัจจัย คือ ฟลักซ์หัวเขียน (head flux dynamic), field gradient และความหนาแน่นเชิงเส้น อย่างไรก็ตามผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าความต้องการในการบันทึกข้อมูลพื้นฐานนั้นสนามแม่เหล็กเขียน (write field) เข้าสู่ภาวะคงตัวก่อนการเปลี่ยนสถานะถัดไปจะถูกบันทึก ที่ τ_c ช้าอาจเป็นผลให้สัญญาณรบกวนสื่อบันทึก (media noise) เพิ่มขึ้นและการขยายออกของการเปลี่ยนสถานะทำให้เข้าสู่ภาวะคงตัวบนสื่อบันทึกช้าในช่วงเวลาของกระบวนการเขียน



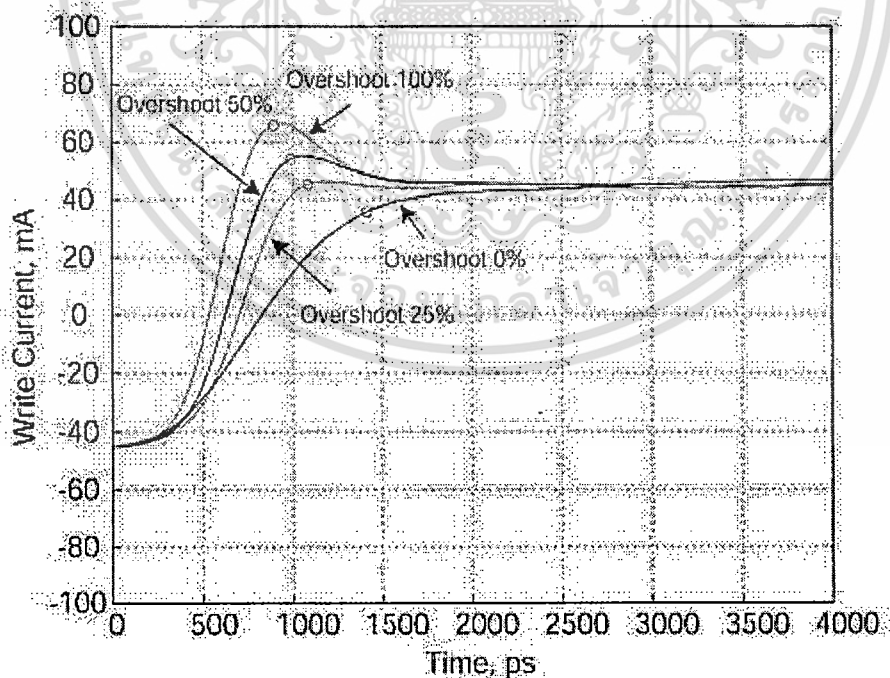
รูปที่ 3.5 สัญญาณกระแสเขียนที่ค่า τ_c ต่างกันซึ่งวัดที่เอาต์พุตของวงจรขับเคลื่อน

ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเป็นตัวสร้างความถี่สูง (high-frequency boost) ในสัญญาณกระแสเขียนและปรับปรุงส่วนข้างหน้าของผลตอบสนองความถี่ (front-end frequency response) รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของการวัดค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กที่ค่า τ_c เท่ากับ 1 นาโนวินาที และระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่างกัน (0-100 เปอร์เซ็นต์) ที่ $I_w = 45$ มิลลิแอมป์ จะเห็นว่าที่ระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนสูงมากเป็นผลให้เวลาการสวิตช์ช้าสั้นมาก วัดสัญญาณกระแสเขียนที่ระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่างกันและที่เวลาของการบันทึกเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยที่วงกลมสอดคล้องในรูปที่ 3.6 การเปลี่ยนสถานะจะถูกบันทึกเมื่อกระแสเขียนมีค่าประมาณค่าสูงสุดของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน ที่ระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนสูงมากเป็นผลให้มีดีเลย์เล็กน้อยมากสัมพันธ์กับการเริ่มต้นของการพลิกกลับ

กระแสเขียนและระดับกระแสในการบันทึกที่สูงมาก นี้เป็นการยืนยันจากการวัดพารามตริก (parametric) คือแม่เหล็กมีประสิทธิภาพเขียนความกว้างเพิ่มขึ้นที่ระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนสูงมาก [4]

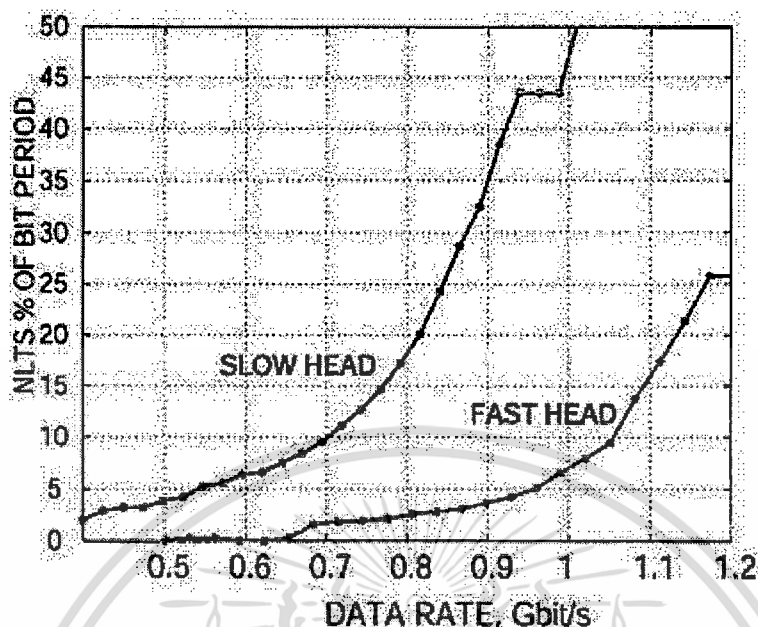


รูปที่ 3.6 ค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กสำหรับระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่างกัน



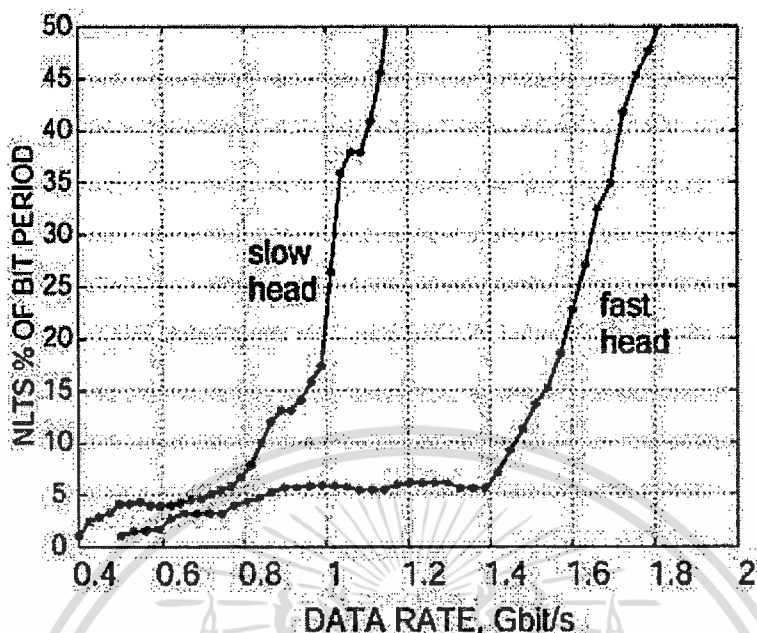
รูปที่ 3.7 สัญญาณกระแสเขียนและเวลาการบันทึกสำหรับระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่างกัน โดยที่ วงกลมแสดงถึงตำแหน่งของการบันทึกจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดง NLTS ที่ถูกวัดสำหรับความยาวของ yoke = 15 ไมโครเมตร (micrometer) (slow heads) และที่ 10 ไมโครเมตร (fast heads)

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของการวัด NLTS สำหรับหัวอ่าน-เขียน 2 แบบที่ต่างกัน หนึ่งในนั้นมี yoke ยาว (15 นาโนเมตร) และสั้นกว่าหัวอ่าน-เขียนที่ yoke เท่ากับ 10 นาโนเมตร ในทางปฏิบัติ ระดับ NLTS สูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ คาบเวลาของบิตยอมรับไม่ได้ นี่คือระดับของความผิดพลาดที่ไม่เป็นเชิงเส้น จะเป็นสาเหตุให้ค่า BER ในระบบแย่ง จากผลการทดลอง หัวอ่าน-เขียนอันแรกมีอัตราข้อมูล ประมาณ 800 Mbit/s ส่วนหัวอ่าน-เขียนอันที่สองสามารถทำได้ถึง 1.1 Gbit/s NLTS ที่แสดงในรูปที่ 3.8 เป็นการวัดที่ระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่เอาต์พุตของวงจรขั้วการเขียนช่วยปรับค่า rise time และเพิ่มกระแสไปยังหัวเขียนด้วย ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนยังทำตัวเสมือนเป็นอ็อกวอไลเซอร์ของกระแสเขียนและชดเชยการสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อกัน (interconnect) และการเหนี่ยวนำของหัวเขียน ในความเป็นจริง ผลตอบสนองหัวเขียนไม่เป็นแบบเชิงเส้นและส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนควรมีความการอพติไมส์ให้แต่ละกรณี



รูปที่ 3.9 แสดง NLTS ที่วัดจากระดับส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการวัด NLTS สำหรับหัวเขียนที่เหมือนกับในรูปที่ 3.8 แต่มีการเพิ่มระดับของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่า หัวเขียนอันแรกสามารถบันทึกข้อมูลถึง 1 Gbit/s เพิ่มขึ้นมาถึง 20 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับรูปที่ 3.8 ส่วนหัวเขียนอันที่สองที่ระดับ NLTS เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำได้ถึง 1.6 Gbit/s เพิ่มขึ้นมาถึง 30 เปอร์เซ็นต์ [5]

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเขียนและอัตราบิตผิดพลาด (bit error rate: BER)

สำหรับสื่อบันทึก สมการของ Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) จะแก้ไขจุดจำกัดของ damping ที่สูง สื่อบันทึกเป็นแบบไม่ต่อเนื่องเป็นอาร์เรย์ (array) ของปริซึมสี่เหลี่ยมหรือปริซึมหกเหลี่ยม ความยาวช่วงปฏิกิริยาพลังงานสนามแม่เหล็ก (magnetostatic) เป็นสัดส่วนชัดเจนกับการลดสภาพความเป็นแม่เหล็ก อัลกอริทึม Fast Fourier transform (FFT) จะปราศจากเงื่อนไขขอบเขตช่วงเวลา (ตารางสี่เหลี่ยม) หรือมีเงื่อนไขขอบเขตช่วงเวลา (ตารางหกเหลี่ยม) ใช้แรงการช่วยคำนวณของพลังงานสนามแม่เหล็กไปยังสนามให้มีประสิทธิภาพ Anisotropy และสนามการแลกเปลี่ยนคือการรักษาในวิธียุติมาตรฐาน สนามจากภายนอกหรือสนามจากหัวเขียนได้มาจากการประมาณค่าการวิเคราะห์ (เช่น Karlqvist หรือ Lindholm) รวมทั้งจาก finite element model (FEM) ของหัวเขียนซึ่งสามารถเพิ่มสนามที่มีประสิทธิภาพบนสื่อบันทึก ผลกระทบที่เป็นไปได้ของจินตภาพของสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อ

บันทึกในส่วนปลายสุดของหัวเข็มเขียน (writer pole tips) ไม่ได้นำมาพิจารณาด้วย สัญญาณอ่านกลับ จะดำเนินการร่วมกับ โมเดล micromagnetic ของติดกับหัวอ่าน giant magnetoresistance (GMR) จุด เชื่อมต่อการหมุนเซนเซอร์แล้ว ส่วนจินตภาพของค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กและกระแสใน shield ทั้ง 2 ข้างคำนวณในรูปอนุกรมของจินตภาพ โมเดลนี้ช่วยลดแรงหมุนเริ่มต้นที่มีการวนซ้ำอย่าง ง่าย ตามด้วย Newton-Raphson ทำให้ค่าของพลังงานทั้งหมดของ discretized pinned และ free layer ลด น้อยลง นอกพื้นระนาบของค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กในชั้น ferromagnetic จะไม่นำมาพิจารณา สนามสัญญาณภายในช่องว่างหัวอ่าน (read gap) ที่ป้องกันเซนเซอร์หัวอ่าน GMR สามารถประมาณค่า ได้จาก

$$\vec{H}(\vec{r}_i) = \sum_j \vec{H}_0(\vec{r}_i - \vec{r}_j) F(y_i - y_j) e^{-\alpha(x_i - x_j)/G^2}, \quad (3.2)$$

ที่ $\vec{H}_0(\vec{r}_i - \vec{r}_j)$ คือสนามสัญญาณที่แน่นอนที่ \vec{r}_j ไปถึงเกรนสื่อบันทึกที่ \vec{r}_i ในกรณีที่หัวอ่านไม่มีการ shield ฟังก์ชัน $F(y)$ คือค่าความสัมพันธ์ที่ได้จาก FEM นั้นอธิบายค่าที่ลดลงแบบเลขชี้กำลัง (exponential decay) ของสนามสัญญาณภายในช่องว่างของหัวอ่าน ตามทิศทางของแกน y ใน down-track (ทิศทางของแกน x) ค่าสัมประสิทธิ์ของ shield (α) จะถูกกำหนดไว้เท่ากับ 0.5 เช่น ความกว้าง ของพัลส์ (pulsewidth) ที่สูงครึ่งหนึ่ง (PW_{50}) ค่าคล้ายกันที่ได้จากผลวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ รวมถึงการ จำลองการทำงานของ micromagnetic (สองมิติ) ของ shield ของสนามที่หันเหจากการเปลี่ยนสถานะใน สื่อบันทึกสามารถปรับปรุงโมเดล นี้ไม่ได้พยายามที่จะทำที่นี้ ดังนั้นมีเพียงการคำนวณความกว้างของ พัลส์เท่านั้นที่มีความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ [27]

อัตราส่วนระหว่างสัญญาณและสัญญาณรบกวนการเปลี่ยนสถานะ (Signal to Transition Noise Ratio) สิ่งที่สำคัญมากของข้อดีในการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กคืออัตราส่วนระหว่างสัญญาณและ สัญญาณรบกวน (signal to noise ratio: SNR) ที่ค่า SNR สูงง่ายต่อการตรวจหาข้อมูล มีหลายนิยาม ของ SNR ตัวอย่างค่า SNR สามารถนิยามจากอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณ single-pulse peak ต่อ กำลังสัญญาณรบกวนการเปลี่ยนสถานะ (transition noise power)

$$SNR_{sp} \equiv \frac{(V_{sp}^{peak})^2}{N} = \frac{2BPW_{50}}{\pi\sigma_n^2}, \quad (3.3)$$

ซึ่งเกือบจะเป็นค่ากำลังสองของอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของความยาวบิต (bit length) และความกว้างพัลส์ (pulse width) ต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนสถานะ (transition jitter) ในทำนองเดียวกัน ค่า SNR สามารถนิยามได้จากอัตราส่วนของกำลังสัญญาณสูงสุดที่ความหนาแน่นเชิงเส้น (linear density: $D = 1/B$) ต่อกำลังสัญญาณรบกวนของการเปลี่ยนสถานะ

$$SNR \equiv \frac{(V^{peak})^2}{N} \equiv SNR_{sp} \cdot R^2 \approx \frac{2BPW_{50}}{\pi\sigma_n^2} \cdot \left[\frac{\pi PW_{50} / 2B}{\sinh(\pi PW_{50} / 2B)} \right]^2, \quad (3.4)$$

ที่ R คือความละเอียดสำหรับการบันทึกที่รูปลิ้นสี่เหลี่ยมที่มีความยาวบิตของ B ถ้าพารามิเตอร์การเปลี่ยนสถานะคือ a ความกว้างของ cross-track correlation (cross-track correlation width) คือ l_c และความกว้างของแทร็กที่อ่าน (read track width) คือ W ดังนั้น jitter การเปลี่ยนสถานะสามารถประมาณได้

$$\sigma_n \approx \frac{\pi^2 a}{4} \sqrt{\frac{l_c}{3W}}, \quad (3.5)$$

ดังนั้น

$$SNR_{sp} \approx \frac{96PW_{50}BW}{\pi^5 a^2 l_c} \approx \frac{0.31PW_{50}BW}{a^2 l_c}, \quad (3.6)$$

โดยที่ค่า 0.31 คือค่าคงที่จากการสมมติรูปร่างการเปลี่ยนสถานะ \tanh ใน jitter ใน jitter ค่า SNR จะเป็นสัดส่วนต่อความกว้างแทร็กที่อ่าน และเป็นสัดส่วนต่อกำลังสองของความยาวบิต

ในการหาค่า BER ของวงจรตรวจหาขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold detector) จะคำนวณจากค่า SNR ของช่องสัญญาณ (channel) ถ้าให้ V_{0-p} คือแอมพลิจูดของแรงดัน และ $V_{rms,n}$ คือแรงดัน RMS ของสัญญาณรบกวน (RMS noise voltage) ดังนั้นค่า SNR ที่วงจรตรวจหาขีดเริ่มเปลี่ยนนิยามจาก

$$SNR(dB) = 20 \log \frac{V_{0-p}}{V_{rms,n}}, \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประมาณค่า BER ของวงจรตรวจหาขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold detector) ในช่องสัญญาณการตรวจหาจุดสูงสุด (peak detection channel) สมมติให้แรงดันสัญญาณรบกวน n ในช่องสัญญาณการรับที่มีค่าประมาณเกาส์เซียน (Gaussian) ที่มีค่าเฉลี่ย (mean) เท่ากับศูนย์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) $\sigma = V_{rms,n}$ ดังนั้นความหนาแน่นความน่าจะเป็น (probability density) ของแรงดันสัญญาณรบกวน n กำหนดได้จากการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution)

$$f(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3.8)$$

เราพิจารณาความน่าจะเป็นของความผิดพลาดในวงจรตรวจหาขีดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งจะกำหนดระดับไว้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของแอมพลิจูดสัญญาณศูนย์ (zero-to-peak) ถ้าไม่มีค่าสูงสุดของแรงดันในช่องสัญญาณ เราอาจจะตีเทคต์การเปลี่ยนสถานะผิดไปเมื่อสัญญาณรบกวนเกินกว่าครึ่งหนึ่งของแรงดันสัญญาณ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพลาด ตัวอย่างเช่น เกิดข้อผิดพลาดจากบิต “0” เป็นบิต “1” กำหนดโดยการอินทิเกรตของฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน

$$P_{0/1} = \int_{V_{0-p}/2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right) dn, \quad (3.9)$$

นิยามการอินทิเกรตของการแจกแจงแบบเกาส์เซียนในรูปของ error function

$$erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2) dy, \quad (3.10)$$

ในทำนองเดียวกัน ยังสามารถนิยามในรูปของ Q(x) function

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right), \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเกิน x จะมีความน่าจะเป็นของความแปรปรวน (variance) และค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเราจะได้ BER คือ

$$P_{0/1} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}} \right) = Q \left(\frac{\sqrt{SNR}}{2} \right), \quad (3.12)$$

ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพลาดเป็นบิต 0 จะหาได้จาก [14], [29], [30]

$$P_{1/0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}} \right) = Q \left(\frac{\sqrt{SNR}}{2} \right), \quad (3.13)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อัลกอริทึมในการถอดรหัสแบบไม่สุ่ม

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความสำคัญของการถอดรหัสแบบไม่สุ่มในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก และอัลกอริทึมในการถอดรหัสแบบไม่สุ่มทั้งวิธีของ baseline และวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี

4.1 ความสำคัญของการถอดรหัสแบบไม่สุ่ม

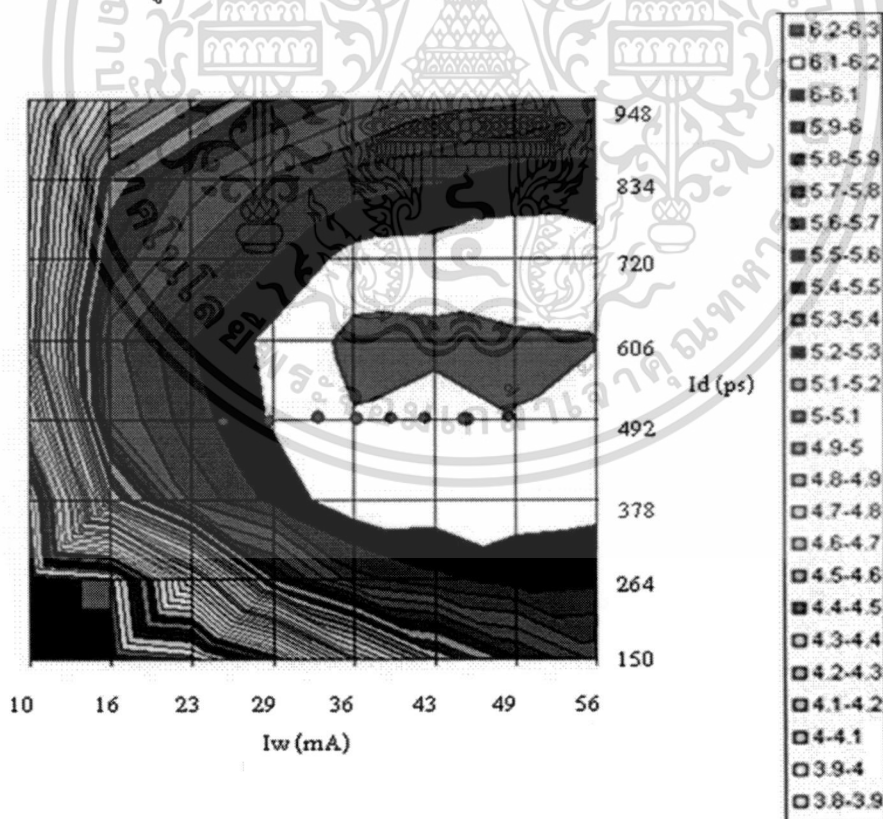
การถอดรหัสแบบไม่สุ่มเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งเพื่อให้ได้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมกับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก หรือให้ได้ค่าความจุตามความต้องการ ในกระแสวิชิตข้อมูลที่มีข้อผิดพลาดที่พบบ่อยให้กับหัวเขียนที่เป็นไปได้หลายชุด ดังนั้นจึงต้องมีการถอดรหัสแบบไม่สุ่ม ซึ่งทำได้โดยการเลือกค่าของแอมพลิจูดกระแสวิชิต, ส่วนพ่วงเกินกระแสวิชิต และเวลาของส่วนพ่วงเกินกระแสวิชิต ให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบ เนื่องจากคุณสมบัติของหัวอ่าน-เขียนและสื่อบันทึกแต่ละอันต่างกัน จึงทำให้ต้องมีการเลือกชุดกระแสวิชิตที่เป็นไปได้หลายชุด เพื่อเป็นตัวเลือกใช้งานให้กับแต่ละหัวอ่าน-เขียน และในกระบวนการเขียนข้อมูล ขนาดของแพทช์จะไม่เท่ากันตลอด เป็นเหตุให้เกิดการเขียนแพทช์ซ้อนทับกันบางตำแหน่ง ดังนั้นจึงนำการบีบแพทช์มาใช้ในการพิจารณาสมรรถนะของระบบเมื่อมีการเขียนแพทช์ซ้อนทับกัน และยังนำเอาการบีบแพทช์มาใช้ในการถอดรหัสแบบไม่สุ่มอีกด้วย ซึ่งในทางอุตสาหกรรมนิยมใช้แบบ AC – squeezed ในการถอดรหัสพารามิเตอร์ของกระแสวิชิตได้มีการใช้กราฟคอนทราสต์ในการเลือกพารามิเตอร์ของกระแสวิชิต ซึ่งกราฟคอนทราสต์นี้จะพล็อตจากค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่วัดได้จากสัญญาณอ่านกลับ (read-back signal) ในทุกค่าพารามิเตอร์ของกระแสวิชิตจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 อัลกอริทึมในการถอดรหัสแบบไม่สุ่ม

ในการถอดรหัสแบบไม่สุ่มจะมีหลายวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งหนึ่งในวิธีที่ทางอุตสาหกรรมนำมาใช้คือ การถอดรหัสแบบไม่สุ่มจากการเลือกชุดกระแสวิชิตจากกราฟคอนทราสต์ โดยที่กราฟคอนทราสต์นี้จะพล็อตจากค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่ได้จากการรันค่าพารามิเตอร์ของกระแสวิชิต

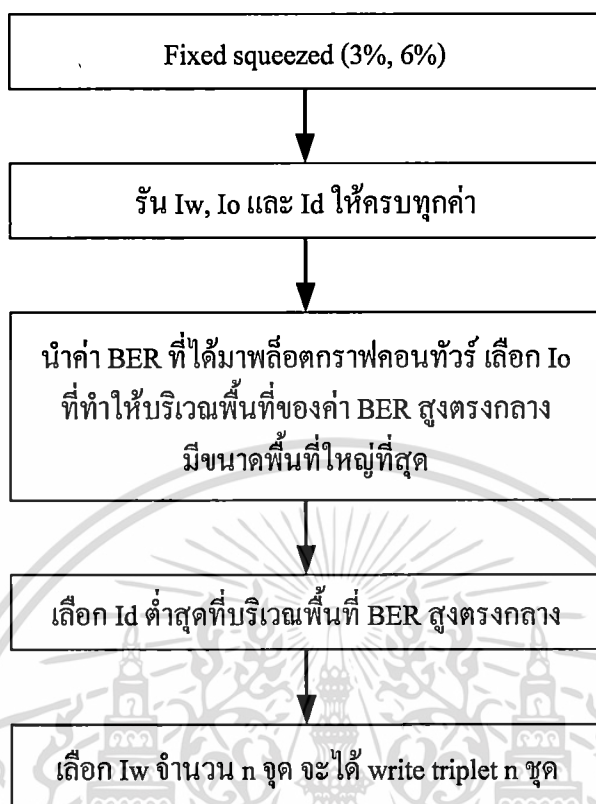
4.2.1 อัลกอริทึมในการถอดรหัสแบบเขียนของ baseline

การถอดรหัสแบบเขียนด้วยวิธี baseline จะมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรก กำหนดระดับเปอร์เซ็นต์ของการบีบเทริกซึ่งในการถอดรหัสจะกำหนดไว้ที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ และ 6 เปอร์เซ็นต์ ถัดมารันพารามิเตอร์ของกระแสเขียนทั้ง 3 ตัวแปรจนครบทุกค่า จากนั้นนำค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่ได้จากการรันพารามิเตอร์ของกระแสเขียนมาพล็อตกราฟคอนทัวร์ ซึ่งจะพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดกระแสเขียนและช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลางเป็นบริเวณพื้นที่ที่กว้างที่สุด สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีแดงในกราฟรูปที่ 4.1 เป็นบริเวณที่ต้องการให้มีพื้นที่มากที่สุด จากนั้นเลือกช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำสุดที่บริเวณ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลาง (ในรูปที่ 4.1 บริเวณที่ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงสุดคือพื้นที่สีแดง) สุดท้ายเลือกแอมพลิจูดกระแสเขียน n จุด ซึ่งในวิธีนี้ได้เลือกค่า $n = 8$ ดังนั้นจะได้ชุดกระแสเขียนที่ถอดรหัสแล้ว 8 ชุด เหตุผลที่ต้องเลือกให้ n มีหลายจุด เพราะในฮาร์ดิกส์ใครที่จะประกอบด้วยหัวอ่าน-เขียนหลายตัวด้วยกัน ซึ่งคุณสมบัติและความแปรปรวนของแต่ละหัวอ่าน-เขียนไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องเลือก write triplet หลายชุดเพื่อให้หัวอ่าน-เขียนเลือกชุดที่เหมาะสม บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการถอดรหัสแบบเขียนแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการถอดรหัสแบบเขียนด้วยวิธี baseline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



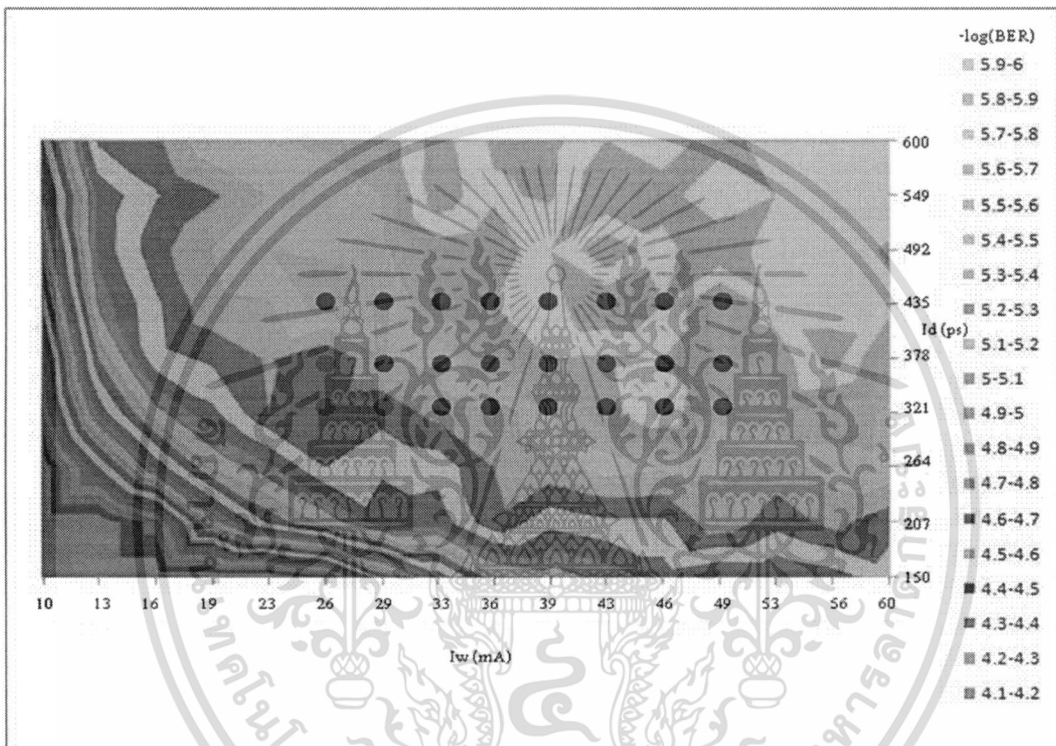
รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมอัลกอริทึมของการถอดรหัสแบบเขียนด้วยวิธี baseline

4.2.2 อัลกอริทึมในการถอดรหัสแบบเขียนของวิธีนำเสนอที่ 1

เนื่องจากการถอดรหัสแบบเขียนในวิธีของ baseline เหมาะสมกับกราฟที่มีลักษณะคอนทัวร์ของเส้นโค้งที่แบ่ง $-\log_{10}(\text{BER})$ แต่ละค่าชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.1 แต่จากการเข้าไปทดลองในบริษัทกลับได้กราฟที่มีลักษณะคอนทัวร์ของเส้นโค้งที่แบ่ง $-\log_{10}(\text{BER})$ แต่ละค่าไม่ชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.3 จึงต้องใช้วิธีการถอดรหัสแบบเขียนที่นำเสนอในการหาค่าถอดรหัสเพื่อให้ได้ชุดรหัสแบบเขียนที่เหมาะสมกับระบบ

อัลกอริทึมในการถอดรหัสแบบเขียนวิธีนำเสนอแบบที่ 1 จะมีขั้นตอนดังนี้ คือกำหนดระดับเปอร์เซ็นต์ของการบีบแพ็คเกจซึ่งจะกำหนดไว้ที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ และ 6 เปอร์เซ็นต์ ถัดมารันพารามิเตอร์ของรหัสแบบเขียนจนครบทุกค่า จากนั้นพล็อตกราฟคอนทัวร์ของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดรหัสแบบเขียนและช่วงเวลาของส่วนพุงเกินรหัสแบบเขียน โดยที่กำหนดส่วนพุงเกินรหัสแบบเขียนที่ทำให้บริเวณพื้นที่ของ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลางมีขนาดพื้นที่ใหญ่ที่สุด (พื้นที่สีเขียวในรูปที่ 4.3) แล้วเลือกช่วงเวลาของส่วนพุงเกินรหัสแบบเขียนต่ำสุดที่บริเวณ $-\log_{10}(\text{BER})$

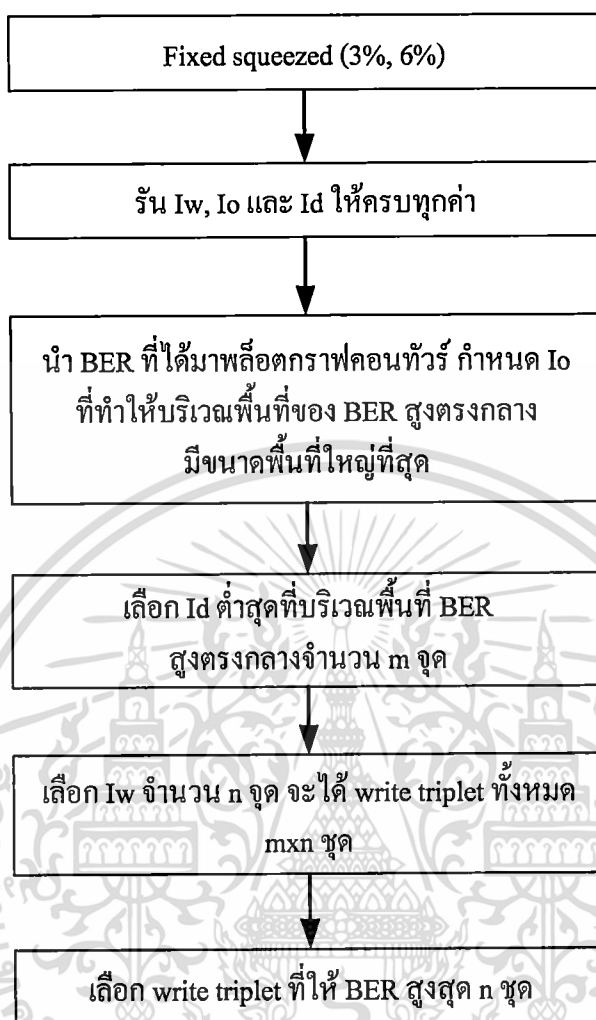
สูตรกลางจำนวน m จุด เลือกแอมพลิจูดกระแสเขียนจำนวน n จุด ดังนั้นจะมีชุดกระแสเขียนทั้งหมด $m \times n$ ชุด (แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.3) ยกตัวอย่างกำหนด $m = 3, n = 8$ จะได้ทั้งหมด 24 ชุด จะเห็นว่าชุดกระแสเขียนที่ได้มีจำนวนมาก ดังนั้นทำการลดจำนวนลงโดยเลือกชุดกระแสเขียนที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงที่สุด n ชุด ซึ่งจากตัวอย่างจะเท่ากับ 8 ชุด เพื่อใช้อ้างอิงกับวิธี baseline ส่วนบล็อกไดอะแกรมวิธีที่นำเสนอแบบที่ 1 ในการอพติไมส์พารามิเตอร์ของกระแสเขียนแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการอพติไมส์กระแสเขียนด้วยวิธีนำเสนอแบบที่ 1

วิธีการอพติไมส์กระแสเขียนที่นำเสนอที่ 1 จะแตกต่างกับวิธีการอพติไมส์กระแสเขียนวิธี baseline ตรงที่วิธีที่นำเสนอที่ 1 ได้เปลี่ยนกระบวนการในการเลือกช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนใหม่ เพื่อให้การเลือกชุดกระแสเขียนมีตัวเลือกเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเลือกชุดกระแสเขียนในขั้นตอนสุดท้าย จะทำให้ได้ชุดกระแสเขียนที่เหมาะสมกับระบบที่เป็นไปได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

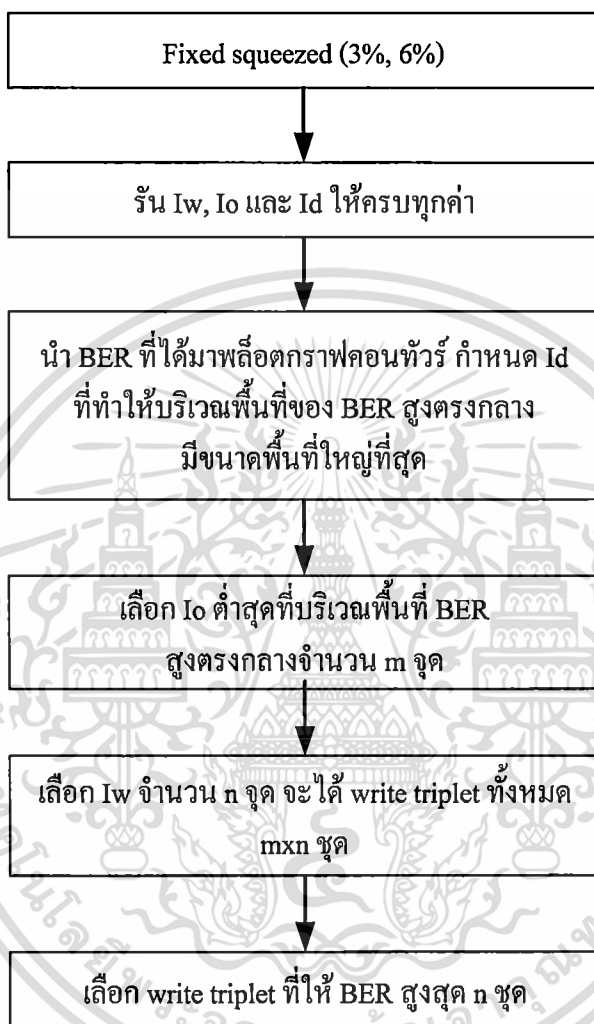


รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมอัลกอริทึมของการอพติไมส์กระแสเขียนด้วยวิธีนำเสนอแบบที่ 1

4.2.3 อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเขียนของวิธีนำเสนอที่ 2

อัลกอริทึมในการอพติไมส์กระแสเขียนวิธีนำเสนอแบบที่ 2 จะมีขั้นตอนดังนี้ คือกำหนดระดับเปอร์เซ็นต์ของการบีบแตรซึ่งจะกำหนดไว้ที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ และ 6 เปอร์เซ็นต์ ถัดมารันค่าพารามิเตอร์ของกระแสเขียนจนครบทุกค่า จากนั้นพล็อตกราฟคอนทิวร์ของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดกระแสเขียน และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่ทำให้บริเวณพื้นที่ของ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลางมีขนาดพื้นที่ใหญ่ที่สุด แล้วเลือกส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำสุดที่บริเวณ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลางจำนวน m จุด เลือกแอมพลิจูดกระแสเขียนจำนวน n จุด ดังนั้นจะมีชุดกระแสเขียนทั้งหมด mxn ชุด ยกตัวอย่างกำหนด $m = 3, n = 8$

จะได้ทั้งหมด 24 ชุด ซึ่งจากตัวอย่างจะเท่ากับ 8 ชุด เพื่อใช้อ้างอิงกับวิธี baseline บล็อกโคอะแกรมวิธีที่นำเสนอแบบที่ 2 ในการอพติไมล์พารามิเตอร์ของกระแสเขียนแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 บล็อกโคอะแกรมอัลกอริทึมของการอพติไมล์กระแสเขียนด้วยวิธีนำเสนอแบบที่ 2

จะเห็นว่า วิธีการอพติไมล์กระแสเขียนวิธีที่นำเสนอที่ 2 คล้ายกับวิธีที่นำเสนอที่ 1 แต่ต่างกันตรงที่ วิธีนำเสนอที่ 2 กำหนดช่วงเวลาส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเป็นตัวเลือกบริเวณที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลางกว้างสุด จากนั้นเลือกส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำสุดในโซนกลางจำนวน m จุดนั่นเอง ส่วนขั้นตอนอื่นๆเหมือนกัน

บทที่ 5

ผลการทดลองและบทวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง และการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์กระแสเขียนที่ใช้ในการออดิตไมล์ ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิดผิดพลาดและส่วนพุงเกินกระแสเขียน, ช่วงเวลาของส่วนพุงกระแสเขียน และแอมพลิจูดกระแสเขียน รวมถึงเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออดิตไมล์พารามิเตอร์ทั้งสามในวิธี baseline และวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธีการทดลองในบทนี้ได้ทำในบริษัทซีเคทเทคโนโลยี จำกัด (นครราชสีมา)

5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุประมาณ 500 – 1,000 กิกะไบต์ (gigabytes) ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (areal density) มากกว่า 300 กิกะบิตต่อตารางนิ้ว (gigabits per inch²) ความหนาแน่นเชิงแตร็ก (track density) มากกว่า 200 กิโลแตร็กต่อนิ้ว (kilotrack per inch: kTPI) ความหนาแน่นเชิงเส้น (linear density) มากกว่า 1,000 กิโลบิตต่อนิ้ว (kilobit per inch: kBPI) อัตราข้อมูล (data rate) มากกว่า 1 กิกะบิตต่อวินาที (gigabit per second) และใช้สื่อบันทึกข้อมูลแบบแนวตั้ง (perpendicular) แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดลอง

Capacity (GB/drive)	500 – 1,000
Areal Density (max in drive)	> 300 Gb/in ²
Track Density (0 – skew)	> 200 kTPI
Linear Density (max in drive)	> 1,000 kBPI
Data Rate (max in drive)	> 1 Gb/s
Media Magnetics	Perpendicular

ในการศึกษาผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง จะทำการทดลองจำนวน 1 แตร็กและใช้เพียง 864 เซกเตอร์ (sectors) พารามิเตอร์ของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจียนที่ใช้ประกอบไปด้วยแอมพลิจูดกระแสเจียนปริมาณ 10 – 60 mA, ส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนปริมาณ 48 – 120 mA และ ช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนปริมาณ 150 – 600 ps การทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ แบบที่ 1 กำหนดแอมพลิจูดกระแสเจียนเท่ากับ 23, 36 และ 49 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 378 ps จากนั้นเปลี่ยนค่าของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนตั้งแต่ 48 – 96 mA แบบที่ 2 กำหนดแอมพลิจูดกระแสเจียนเท่ากับ 23, 36 และ 49 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 78 mA จากนั้นเปลี่ยนค่าช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนตั้งแต่ 150 – 600 ps ส่วนแบบที่ 3 กำหนดส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 78, 60 และ 90 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียน 378, 549 และ 264 ps ตามลำดับ จากนั้นเปลี่ยนค่าแอมพลิจูดกระแสเจียนตั้งแต่ 10 – 60 mA ในการทดลองทั้ง 3 แบบได้ทำการทดลองแบบไม่มีการบีบแท่งและที่มีการบีบแท่งในประมาณ 3, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะแสดงพารามิเตอร์ดังตารางที่ 5.2

เราได้เสนอวิธีการอพติไมส์พารามิเตอร์ของกระแสเจียนโดยใช้กราฟคอนทัวร์เป็นเทคนิคในการเลือกค่าที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาที่ระดับการบีบแท่งจำนวน 2 ระดับคือที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยจะแบ่งวิธีในการอพติไมส์เป็น 2 วิธี วิธีที่ 1 เราจะกำหนดส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเป็นอันดับแรก จากนั้นถึงเลือกช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนและแอมพลิจูดกระแสเจียนตามลำดับ ส่วนวิธีที่ 2 เรากำหนดช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนก่อน จากนั้นถึงเลือกส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนและแอมพลิจูดกระแสเจียนซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอพติไมส์จะแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลกระทบของกระแสเจียน

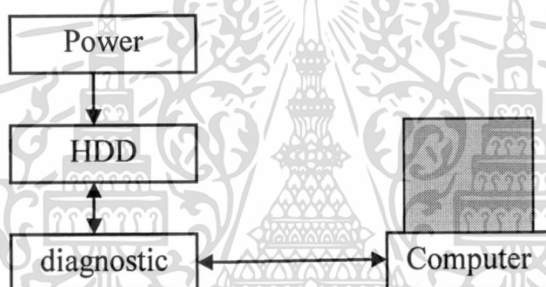
พารามิเตอร์	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
I_w (mA)	23, 36 และ 49	23, 36 และ 49	10 - 60
I_o (mA)	48 - 120	78	78, 60 และ 90
I_d (ps)	378	150 - 600	378, 549 และ 264
Squeezed (%)	0, 3, 6 และ 12	0, 3, 6 และ 12	0, 3, 6 และ 12
Track	1	1	1
Sectors	864	864	864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการอพติไมส์

Squeezed levels	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
3 %	เลือก I_0 เป็นอันดับแรก จากนั้น	เลือก I_d เป็นอันดับแรก จากนั้น
6 %	ถึงเลือก I_d และ I_w	ถึงเลือก I_0 และ I_w

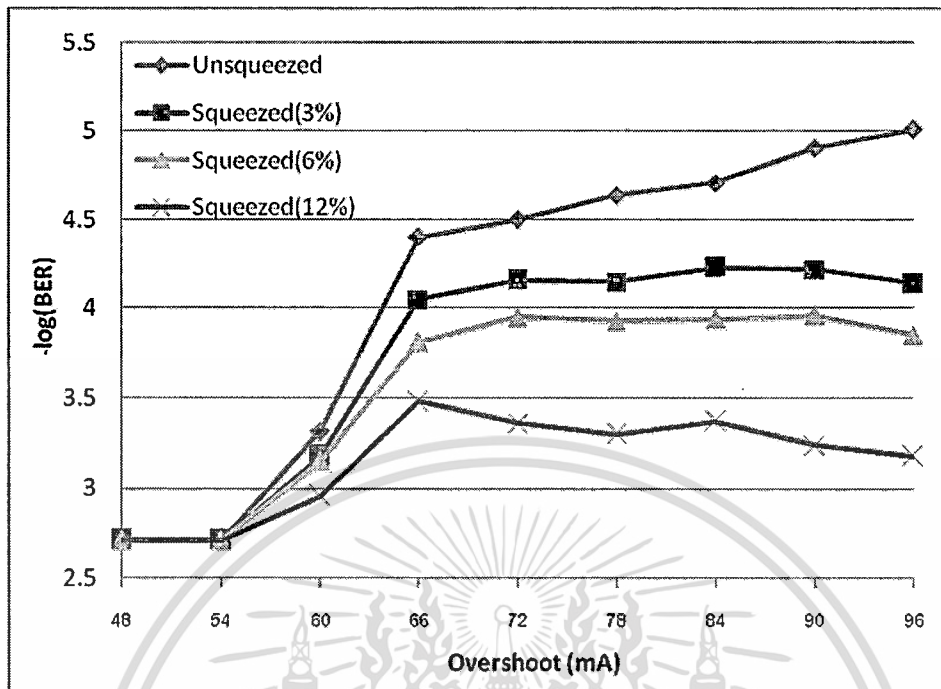
ในการทดลองผลกระทบและการอพติไมส์ของกระแสเขียนจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายไฟให้กับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า diagnostic เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งในการทดลองสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ทั้งในการทดลองผลกระทบของกระแสเขียนและการอพติไมส์ได้โดยผ่านคอมพิวเตอร์ที่ส่งคำสั่งผ่าน diagnostic ไปยังฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 5.1 รูปแบบการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

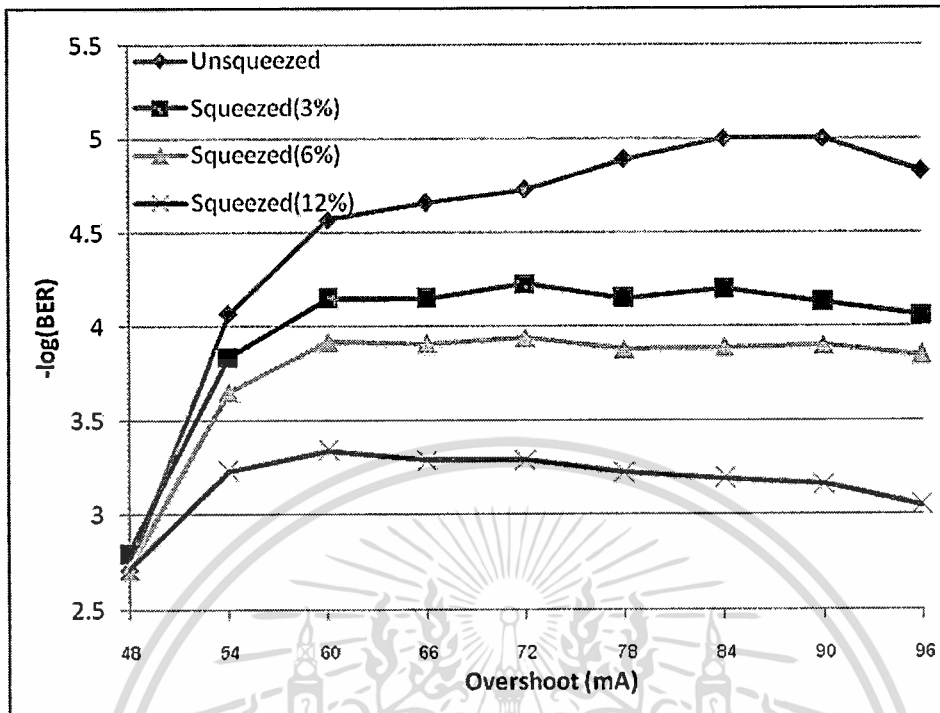
5.2 ผลกระทบของพารามิเตอร์กระแสเขียนในวงจรพรีแอมป์ต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงผลกระทบของพารามิเตอร์กระแสเขียนในวงจรพรีแอมป์ต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง ซึ่งจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิดผิดพลาดและพารามิเตอร์กระแสเขียนแต่ละตัวแปร ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของระบบจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์กระแสเขียนทั้ง 3 ตัวแปร



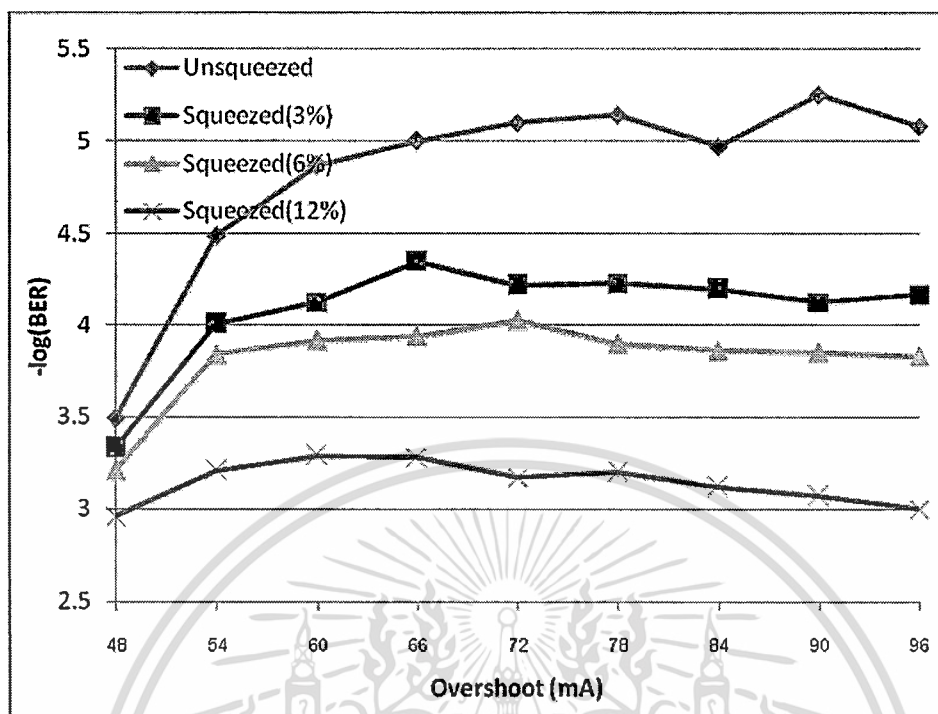
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 23 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps

จากกราฟรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 23 mA และช่วงเวลาส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps สังเกตว่าค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ บนแกนตั้งจะเป็นค่าบวก กรณีไม่มีการบีบแตรค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ เริ่มสูงขึ้นตั้งแต่ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 60 mA และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปจนถึงส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 66 mA เพราะส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่เพิ่มเข้าไปทำให้จำนวนเกรนในสื่อบันทึกสวิตช์ช้าได้มากขึ้นและใช้เวลาสั้นลง หลังจากนั้นค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะคงตัว แม้ว่าการเพิ่มส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนจะทำให้จำนวนเกรนใช้เวลาสวิตช์สั้นลง แต่จะมีผลในการสวิตช์ช้าของจำนวนเกรนแค่จำนวนหนึ่งเท่านั้นจึงเป็นผลให้ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเข้าสู่สภาวะคงตัว ในกรณีที่มีการบีบแตรปริมาณ 3, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ เริ่มดีขึ้นตั้งแต่ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 60 mA และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปจนถึง 66 mA เนื่องจากจำนวนเกรนที่สวิตช์ช้าเพิ่มขึ้น รวมถึงเวลาในการสวิตช์ช้าสั้นลง เมื่อเพิ่มค่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนทำให้ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เข้าสู่สภาวะคงตัว เพราะจำนวนเกรนที่สวิตช์ช้าจะมีผลกับค่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนแค่ช่วงหนึ่งเท่านั้น และยังมีสนามแม่เหล็กจากแตรข้างเคียงที่เป็นผลมาจากการบีบแตรเข้าไปรบกวนในแตรที่กำลังอ่านสัญญาณอ่านกลับอยู่



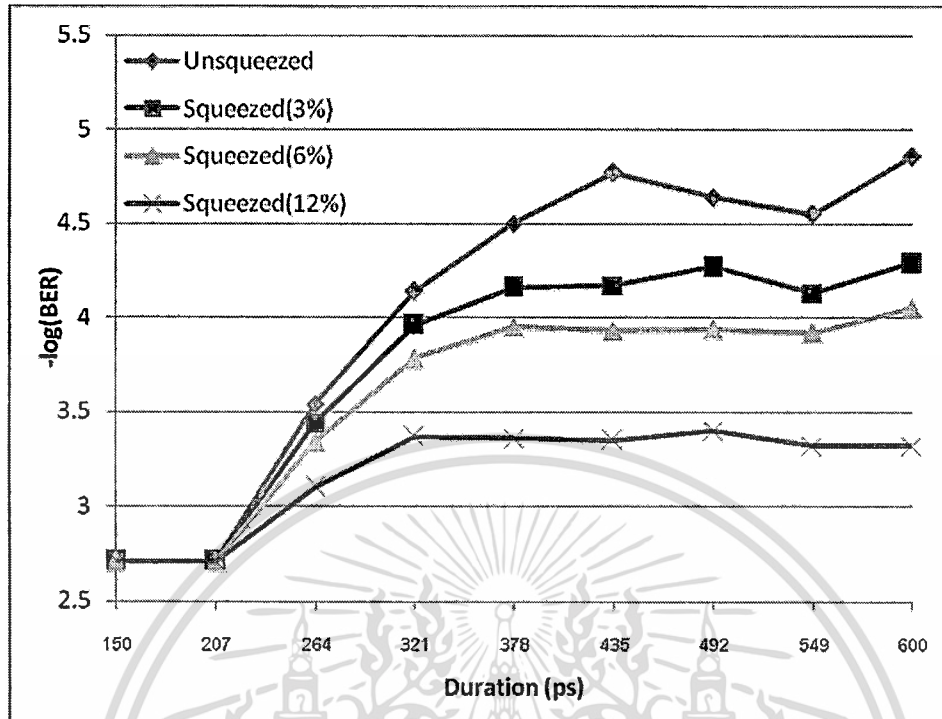
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 36 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps

จากกราฟรูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนโดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 36 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps พบว่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนจนถึงประมาณ 60 mA ทั้งกรณีไม่มีการบีบแตรีกและกรณีมีการบีบแตรีก เพราะว่าการเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนสูงขึ้นทำให้ลบค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกได้มากขึ้นเป็นผลให้บิตข้อมูลที่ทำการเขียนลงไปบนสื่อบันทึกมีทิศทางที่ควรจะเป็นมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเข้าไปทำให้จำนวนเกรนในสื่อบันทึกสวิตช์ซ้ำได้มากขึ้นและใช้เวลาสั้นลง หลังจากนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะคงตัว เพราะส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนจะมีผลในการสวิตช์ซ้ำของจำนวนเกรนแต่ละช่วงๆหนึ่งเท่านั้น ในกรณีการบีบแตรีกปริมาณ 3, 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ ลดต่ำลงตามระดับเปอร์เซ็นต์ของการบีบแตรีก เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กจากแตรีกข้างเคียงที่เป็นผลมาจากการบีบแตรีกเข้าไปรบกวนหัวอ่านในขณะที่อ่านสัญญาณ



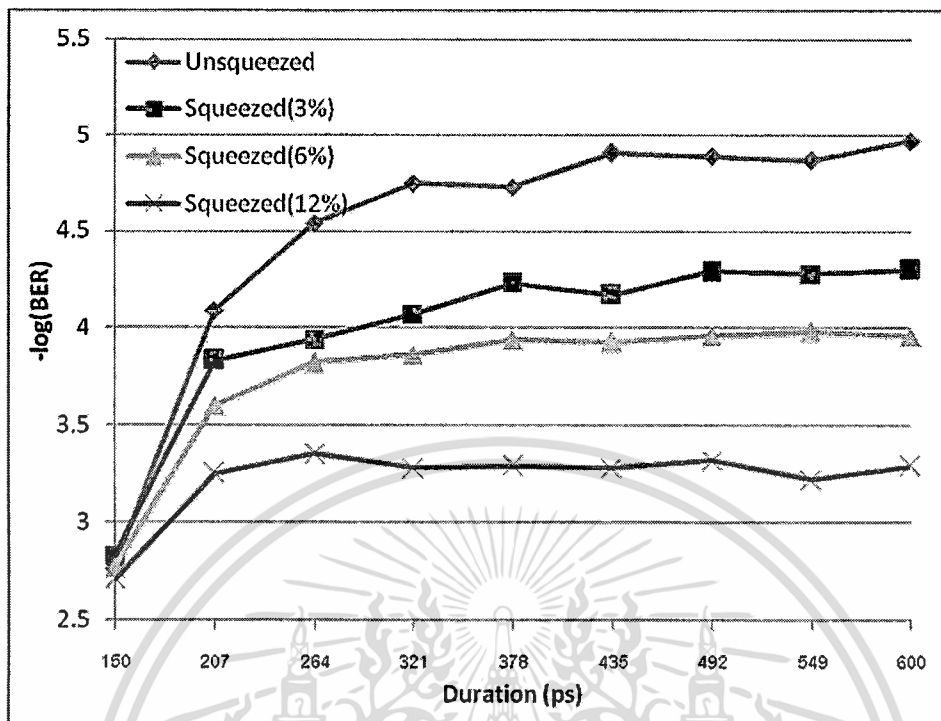
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนโดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเจียนเท่ากับ 49 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 378 ps

กราฟรูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเจียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเจียนเท่ากับ 49 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 378 ps จากกราฟสังเกตเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ จะมีลักษณะคล้ายกับที่แอมพลิจูดกระแสเจียนต่ำและกลาง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าที่แอมพลิจูดกระแสเจียนระดับกลางและสูง ช่วงที่ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นจะอยู่ในช่วงที่ส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนมีค่า 48 – 60 mA หลังจากนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ จะเข้าสู่สภาวะคงตัวทั้งในกรณีที่ไม่มีกรับบีบแตรและที่มีการบีบแตร



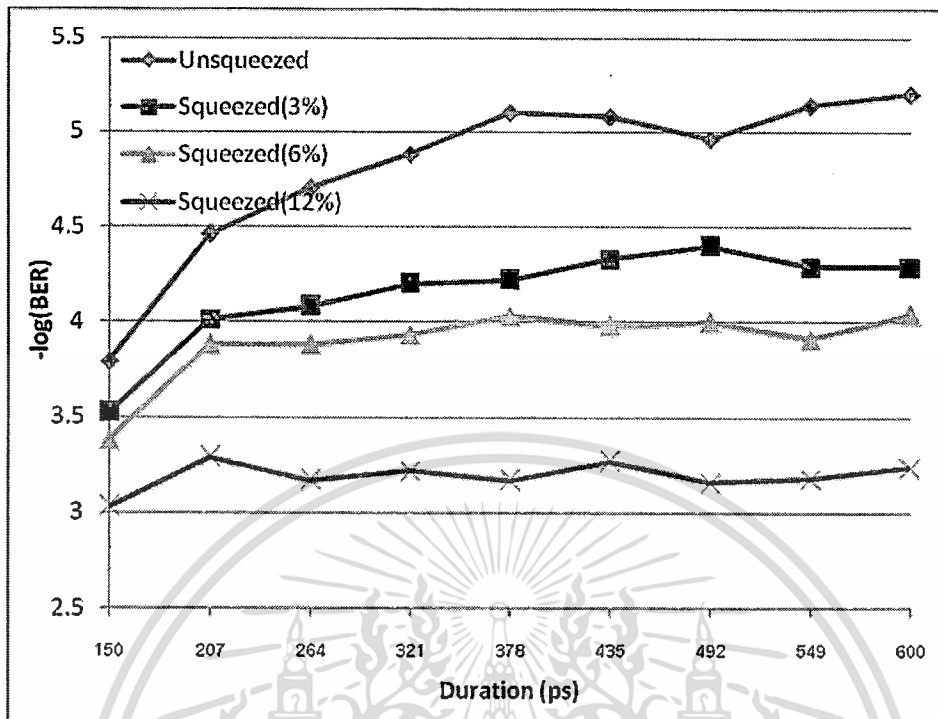
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 23 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA

จากกราฟรูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน โดยที่แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 23 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 78 mA จากกราฟจะสังเกตเห็นว่ากรณีไม่มีการบีบแตรนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 207 ps ขึ้นไปจนถึงช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 435 ps หลังจากนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ จะเข้าสู่สภาวะคงตัวไป ในกรณีที่มีการบีบแตรจะคล้ายกับกรณีไม่มีการบีบแตร แต่ค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะแย่งตามเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของการบีบแตร



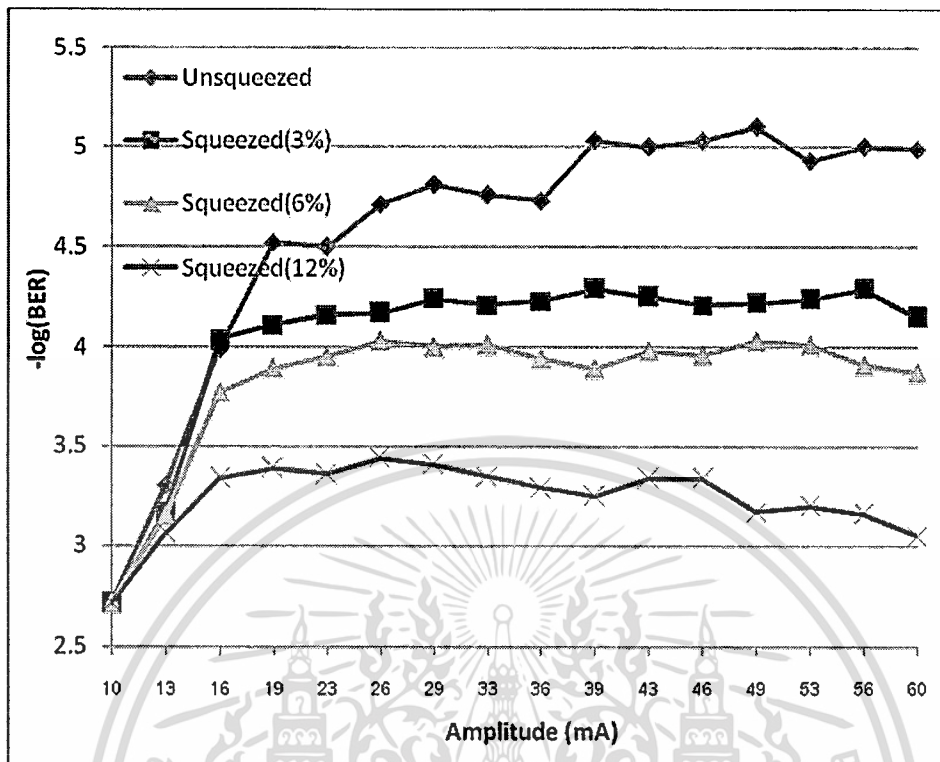
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียน โดยที่ กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 36 mA และส่วนพุงเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA

จากกราฟรูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเขียนเท่ากับ 36 mA และส่วนพุงเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนสูงขึ้น จะมีผลให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ค่าเริ่มต้นช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนทั้งกรณีไม่มีการบีบแตรีกและกรณีที่มีการบีบแตรีก และในแต่ละกรณีนั้นจะมีช่วงที่ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นไม่เท่ากัน ซึ่งจะเห็นได้จากกรณีไม่มีการบีบแตรีกกับกรณีที่มีการบีบแตรีกที่ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ปริมาณการบีบแตรีกสูงขึ้นจะทำให้ช่วงที่ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นแคบลงตามไปด้วย



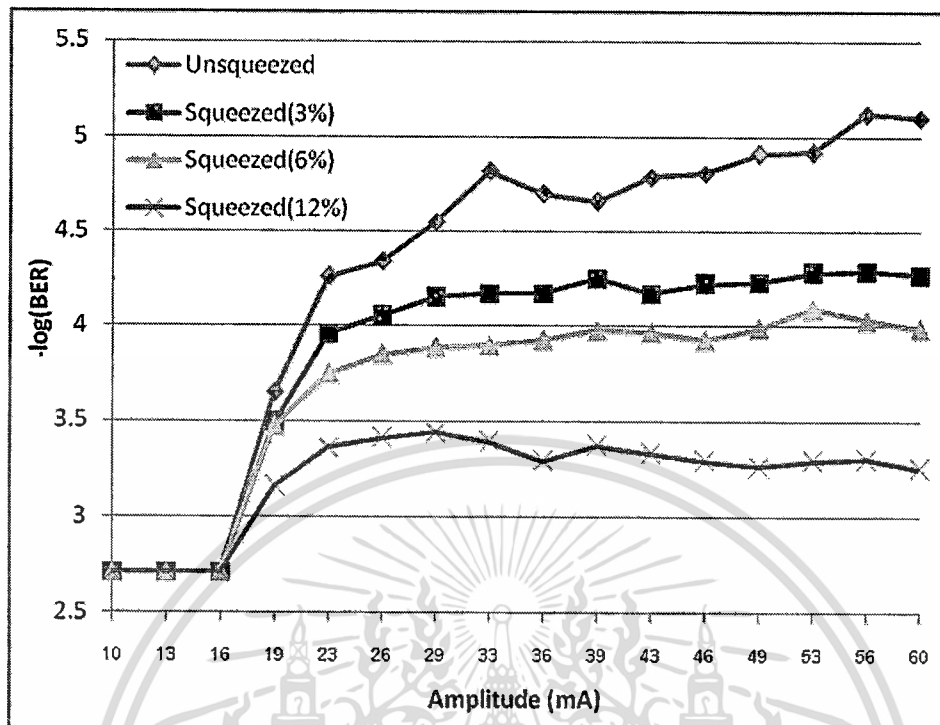
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียน โดยที่ กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเจียนเท่ากับ 49 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 78 mA

จากกราฟรูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียน โดยที่ กำหนดให้แอมพลิจูดกระแสเจียนเท่ากับ 49 mA และส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนเท่ากับ 78 mA จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเจียนสูงขึ้นเรื่อยๆ จะมีผลให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นกว่าเมื่อเทียบกับที่แอมพลิจูดกระแสเจียนต่ำกว่าในค่าเริ่มต้นช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเจียนทั้งกรณีไม่มีการบีบแตรีกและกรณีที่มีการบีบแตรีก



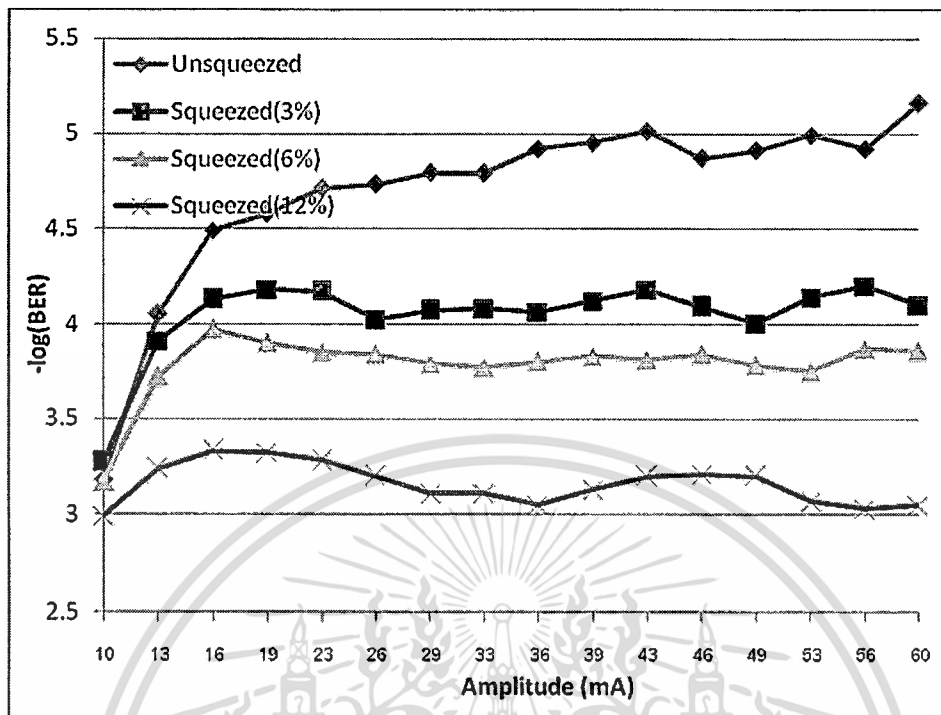
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 78 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 378 ps

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยกำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 378 ps ในกรณีที่ไม่มีกรับบีบแตรและมีการบีบแตรจะพบว่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียน จนกระทั่งค่าหนึ่งจะทำให้ค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกหมดไป บิตที่เขียนลงไปมีทิศทางที่ถูกต้อง และเมื่อเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนให้สูงขึ้น จะทำให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนเข้าสู่สภาวะคงตัว เนื่องจากการเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนที่เพิ่มเข้าไปจะมีผลต่อสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น และยังคงส่งผลให้หัวอ่านยึดออกเข้าใกล้สื่อบันทึกมากขึ้นด้วย แต่ในกรณีที่มีการบีบแตรพบว่า $-\log_{10}(\text{BER})$ ลดต่ำลงตามระดับเปอร์เซ็นต์การบีบแตรที่เพิ่มขึ้น เพราะผลของการบีบแตร ทำให้แตรที่กำลังเขียนและแตรข้างเคียงเลื่อนเข้าหากัน ส่งผลให้หัวอ่านรับสนามแม่เหล็กจากแตรข้างเคียงเข้ามารบกวนสัญญาณอ่านกลับ



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยที่กำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 60 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 549 ps

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียน โดยกำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 60 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 549 ps เมื่อลดส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน และเพิ่มช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนขึ้น สังเกตเห็นว่าในช่วงแรกของแอมพลิจูดกระแสเขียนนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งมากกว่า 16 mA ขึ้นไปจนถึง 33 mA หลังจากนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ เข้าสู่สถานะคงตัวทั้งกรณีไม่มีการบีบแตรีกและกรณีมีการบีบแตรีก เพราะว่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่ลดลงส่งผลไปยังจำนวนเกรนที่สวิตช์ซ้ำ



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียนโดยที่กำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 90 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน 264 ps

รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียนโดยกำหนดให้ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 90 mA และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 264 ps เมื่อเพิ่มส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนขึ้น และลดช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนลง พบว่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ในช่วงแรกของแอมพลิจูดกระแสเขียน หลังจากนั้น $-\log_{10}(\text{BER})$ เข้าสู่สภาวะคงตัวทั้งกรณีไม่มีการบีบแตรีกและกรณีมีการบีบแตรีก ซึ่งจะคล้ายกับกราฟรูปที่ 5.8 นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนสูงขึ้น กลับส่งผลให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ มีค่าประมาณกับในกรณีที่กำหนดส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 78 mA

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของระบบและพารามิเตอร์ของกระแสเขียนทั้งสามตัวแปร จะพบว่า ในกรณีความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนการเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนสูงขึ้นจะทำให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ค่าเริ่มต้นของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน และยังพบอีกว่าที่ค่าแอมพลิจูดกระแสเขียนระดับกลางขึ้นไป จะทำให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ เข้าสู่สภาวะคงตัวที่ส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนในระดับประมาณ 60 mA ขึ้นไปทั้งในกรณีที่ไม่มีกรบีบแตรีกและกรณีที่มีการบีบแตรีก จากความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนพบว่า

$-\log_{10}(\text{BER})$ จะเข้าสู่สภาวะคงตัวในช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนประมาณ 378 ps ในทุกระดับของแอมพลิจูดกระแสเขียนและทุกกรณีที่ไม่มีการบีบแพร์กและกรณีที่มีการบีบแพร์ก และจากความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และแอมพลิจูดกระแสเขียนจะพบว่า $-\log_{10}(\text{BER})$ จะเข้าสู่สภาวะคงตัวที่แอมพลิจูดกระแสเขียนประมาณ 26 mA ในทุกกรณี นอกจากนี้ยังพบอีกว่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะมากกว่าช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียน

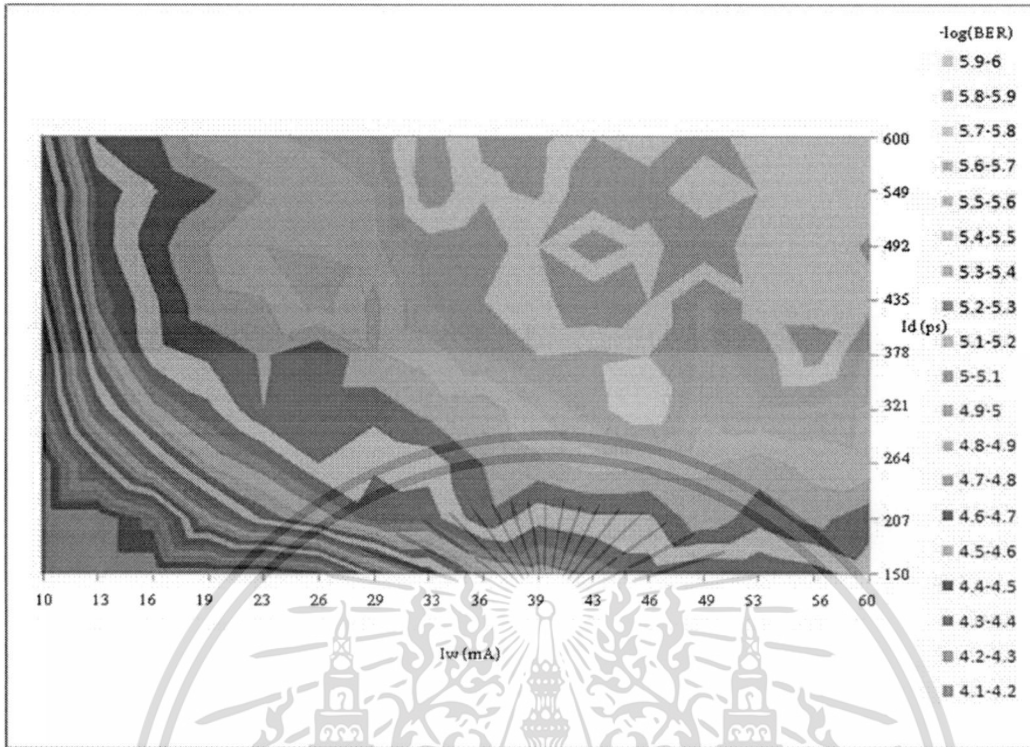
5.3 ผลการอพติไมล์พารามิเตอร์กระแสเขียนในวงจรพีแอมป์

ในหัวข้อนี้จะแสดงรูปร่างลักษณะของกราฟคอนทัวร์ที่ใช้ในการเลือกพารามิเตอร์กระแสเขียนทั้งวิธีนำเสนอทั้ง 2 วิธีและวิธี baseline และยังแสดงผลของการอพติไมล์พารามิเตอร์กระแสเขียนในวงจรพีแอมป์ ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธีและวิธี baseline ที่อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ และในรูปของผลต่างค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$

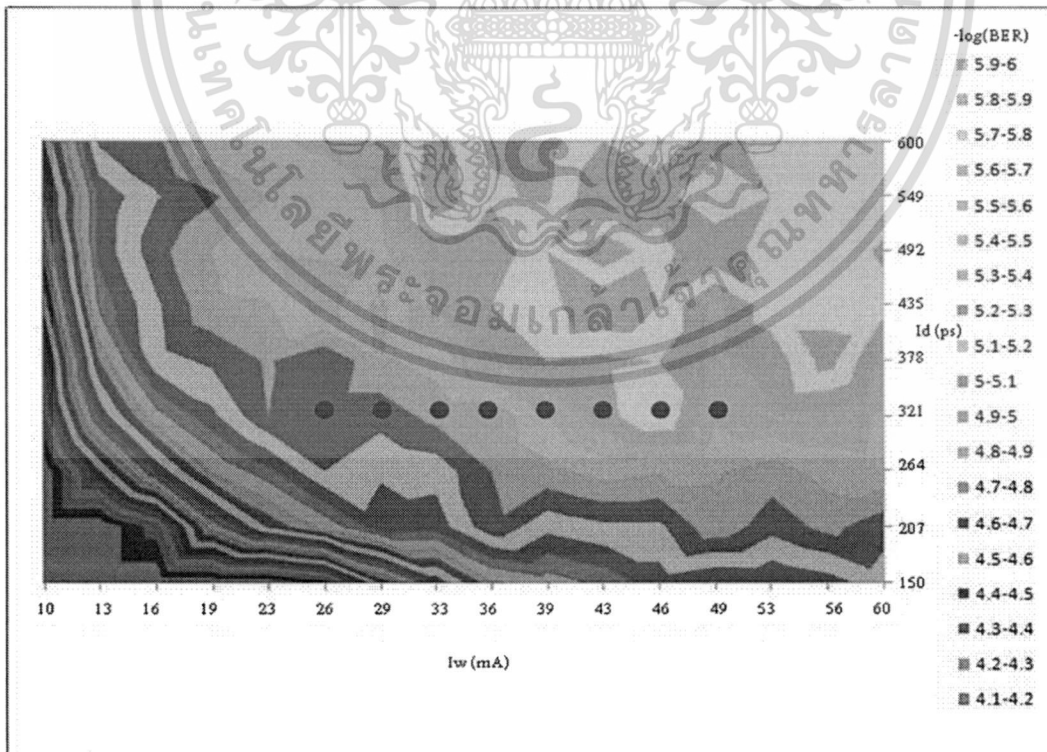
5.3.1 กราฟคอนทัวร์สำหรับการอพติไมล์พารามิเตอร์กระแสเขียน

เมื่อได้ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ จากขั้นตอนการรันค่าพารามิเตอร์กระแสเขียนจนครบแล้ว เรานำเอาค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ มาพล็อตเป็นกราฟคอนทัวร์ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5.11 จะพบว่ากราฟคอนทัวร์ที่ได้มีรูปร่างของเส้นโค้งซับซ้อนหรือมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ถ้าใช้วิธีการอพติไมล์พารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธี baseline จะได้ค่าที่ไม่เหมาะสม เพราะว่าวิธี baseline จะให้ผลดีกับกราฟคอนทัวร์ที่มีเส้นโค้งเป็นเชิงเส้น โดยที่วิธี baseline จะเลือกส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่ทำให้บริเวณพื้นที่ของ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลาง มีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด จากรูปที่ 5.11 บริเวณพื้นที่สีเขียวคือบริเวณที่ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูง มีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งจะมีค่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 84 มิลลิแอมป์ จากนั้นเลือกค่าเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำสุดในโซนกลางจำนวนหนึ่งค่า แล้วเลือกค่าแอมพลิจูดของกระแสเขียน 8 ค่า ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการเลือกค่าพารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธี baseline ในรูปที่ 5.12

ดังนั้นจำเป็นต้องใช้การอพติไมล์พารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธีใหม่ เพื่อช่วยในการเลือกพารามิเตอร์กระแสเขียนจากกราฟคอนทัวร์ที่มีรูปร่างลักษณะเส้นโค้งที่ซับซ้อนให้ได้ชุดกระแสเขียนที่เหมาะสมต่อระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขึ้น

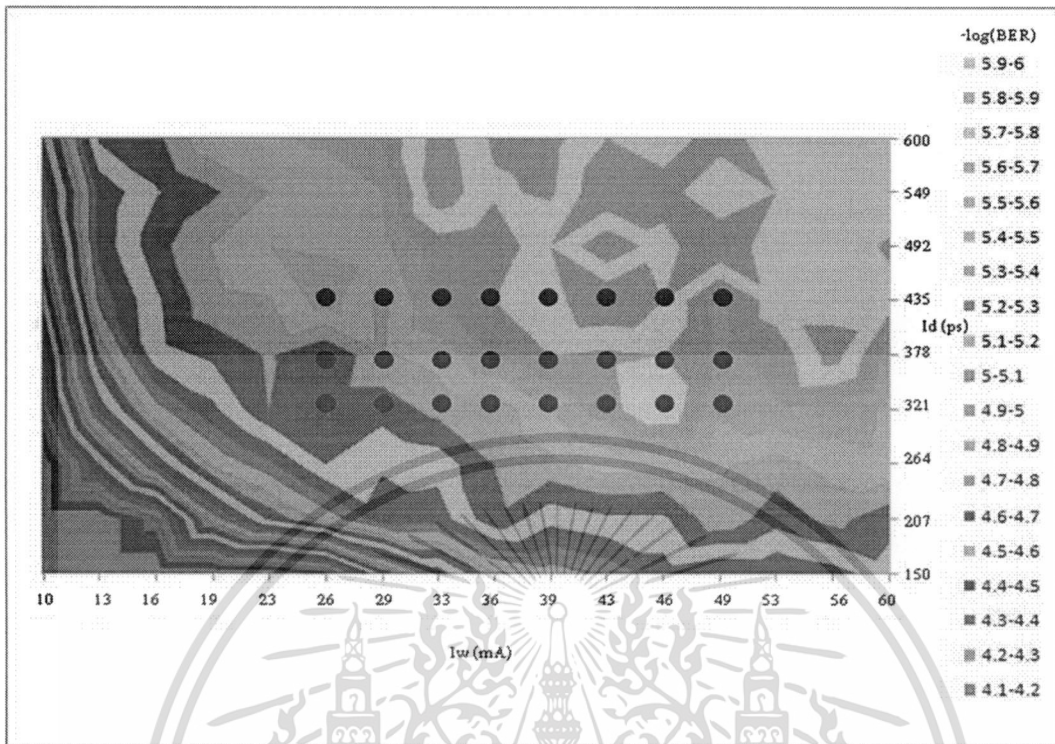


รูปที่ 5.11 ตัวอย่างกราฟคอนทัวร์ที่ได้รับ เมื่อส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนเท่ากับ 84 mA



รูปที่ 5.12 กราฟคอนทัวร์ที่แสดงตัวอย่างการออกติโมสฟารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธี baseline

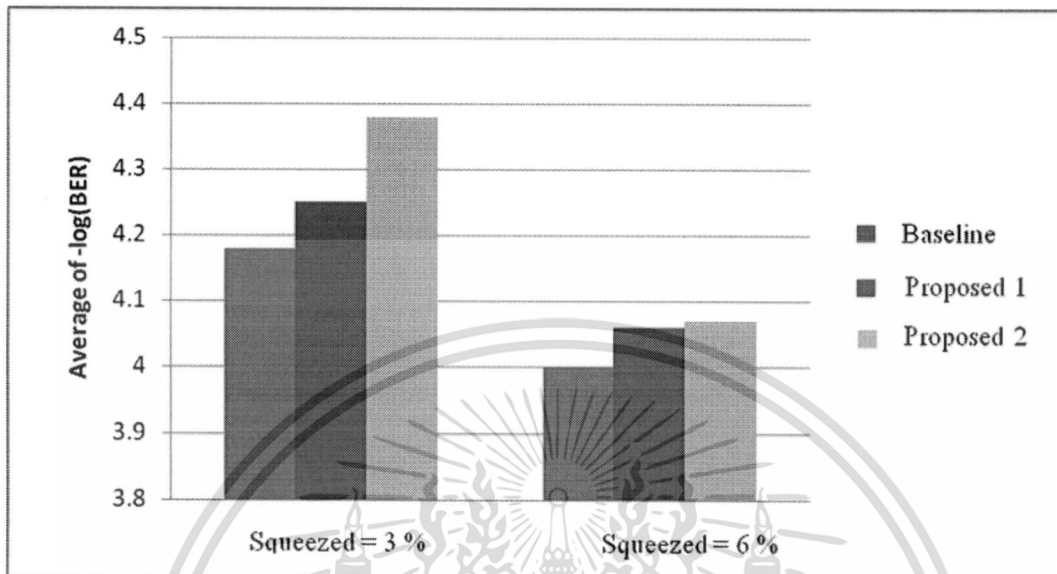
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 กราฟคอนทัวร์ที่แสดงตัวอย่างการอพติไมส์พารามิเตอร์กระแสเขียนด้วยวิธีที่ 1

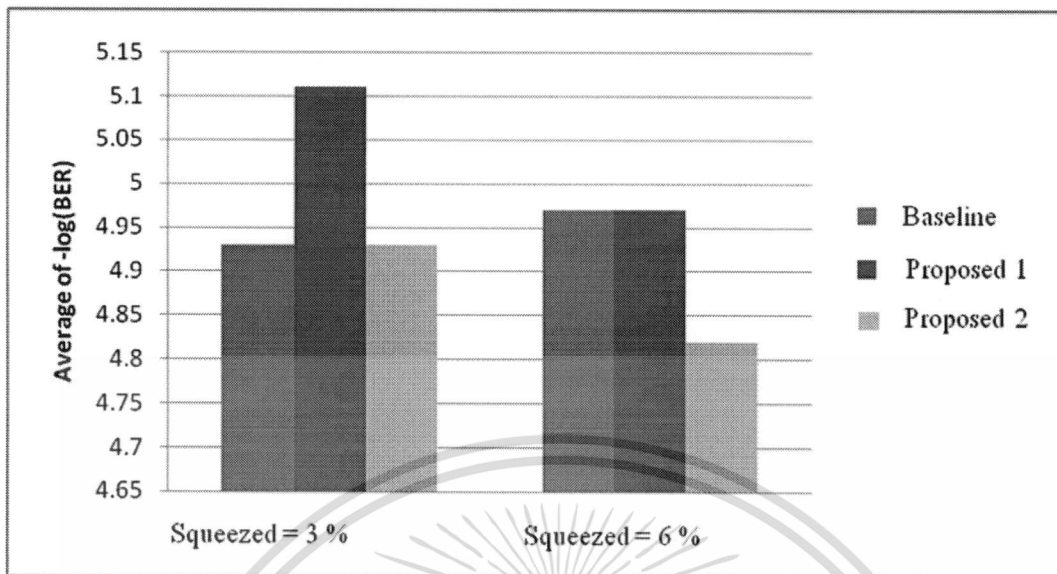
วิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธีได้ปรับปรุงวิธีของ baseline โดยวิธีที่ 1 นั้นในขั้นตอนแรกจะคล้ายกับวิธี baseline แต่ต่างกันตรงที่วิธีที่ 1 จะเลือกค่าเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำสุดในโซนกลางจำนวนสามค่า แล้วเลือกค่าแอมพลิจูดของกระแสเขียน 8 ค่า จะได้ชุดกระแสเขียนทั้งหมด 24 ชุดดังแสดงในรูปที่ 5.13 จากนั้นเลือกชุดกระแสเขียนที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงที่สุด 8 ชุด ส่วนวิธีที่ 2 จะต่างตรงที่เลือกช่วงเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนที่ทำให้บริเวณพื้นที่ของ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงตรงกลาง มีขนาดใหญ่ที่สุด จะมีลักษณะรูปร่างคล้ายกับรูปที่ 5.11 เลือกค่าส่วนพุ่งเกินกระแสเขียนต่ำสุดในโซนกลางจำนวนสามค่า แล้วเลือกค่าแอมพลิจูดของกระแสเขียน 8 ค่า จากนั้นเลือกชุดกระแสเขียนที่ให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงที่สุด 8 ชุด ซึ่งจะได้กราฟคล้ายกับรูปที่ 5.13 วิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธีจะมีรูปแบบการเลือกชุดกระแสเขียน 24 ชุดลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากเราได้ทำการศึกษา รูปแบบการเลือกชุดกระแสเขียน 24 ชุดมาหลายรูปแบบ แล้วพบว่าในรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะให้ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่ารูปแบบอื่น เช่น แบบวงกลม, แบบสามเหลี่ยม หรือแบบหกเหลี่ยม เป็นต้น

5.3.2 การอพยพไม้ส์ของกระแสวิญญาณ



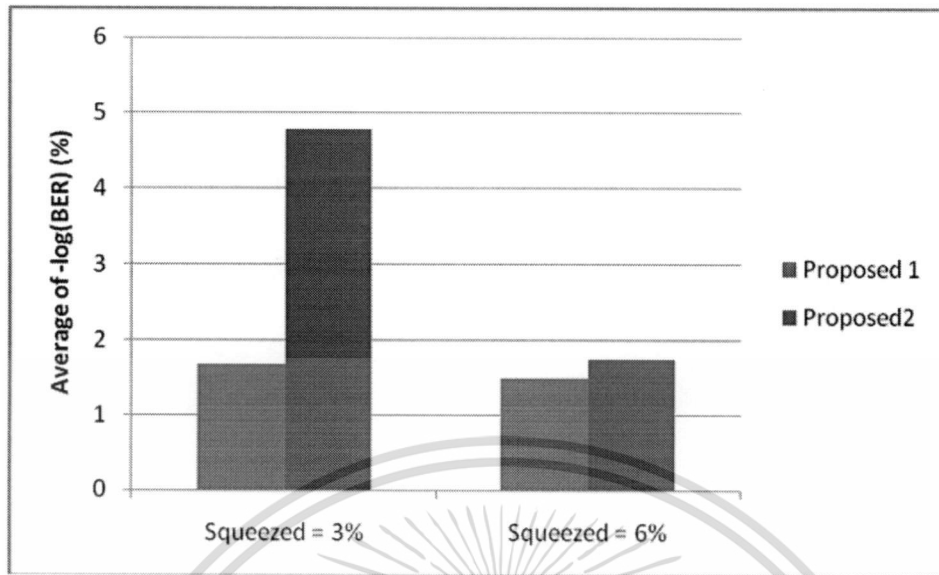
รูปที่ 5.14 ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี และวิธีของ baseline ในกรณีของการบีบแตร

รูปที่ 5.14 เราพบว่าวิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ดีกว่าวิธี baseline เนื่องจากวิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธีจะมีจำนวนชุดกระแสวิญญาณที่ใช้ในการเลือกเพิ่มขึ้น เมื่อเลือกชุดกระแสวิญญาณที่ดีที่สุด 8 ชุด ซึ่งในชุดกระแสวิญญาณ 8 ชุดที่ได้มีส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าชุดกระแสวิญญาณที่ได้จากวิธีของ baseline ดังนั้นเมื่อนำชุดกระแสวิญญาณ 8 ชุดทั้งวิธีที่นำเสนอสองวิธีและวิธี baseline มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอทั้งสองมีค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ดีกว่าวิธี baseline เมื่อพิจารณาเฉพาะวิธีที่นำเสนอเราพบว่าที่ระดับการบีบแตร 3 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่าที่ระดับการบีบแตร 6 เปอร์เซ็นต์ ในทั้งสองวิธีที่นำเสนอ เนื่องจากที่ระดับการบีบแตร 3 เปอร์เซ็นต์ มีระดับสัญญาณจากแตรกข้างเคียงน้อยกว่าที่ระดับการบีบแตร 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นที่ระดับการบีบแตร 3 เปอร์เซ็นต์ หัวอ่านรับสัญญาณจากแตรกข้างเคียงน้อยกว่าระดับการบีบแตร 6 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งกว่านั้น เราพบว่าวิธีที่นำเสนอที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่าวิธีที่นำเสนอที่ 1 ทั้งในระดับการบีบแตรที่ 3 เปอร์เซ็นต์และ 6 เปอร์เซ็นต์



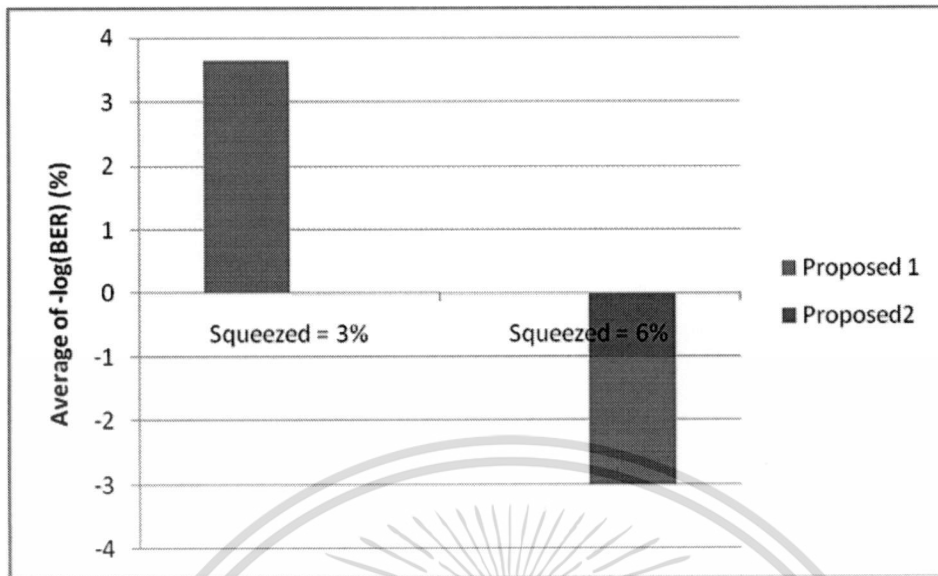
รูปที่ 5.15 ค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในกรณีไม่มีการบีบแพ็คเกจที่เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 และวิธีของ baseline ที่หาได้จากนำชุดกระแสเขียนทั้ง 8 ชุดของกรณีบีบแพ็คเกจที่ระดับ 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ไปหา $-\log_{10}(\text{BER})$ ในกรณีไม่มีการบีบแพ็คเกจ

รูปที่ 5.15 แสดงค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในกรณีที่ไม่มีการบีบแพ็คเกจที่เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 และวิธีของ baseline สามารถหาได้จากนำชุดกระแสเขียน 8 ชุดของกรณีบีบแพ็คเกจที่ระดับ 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ได้จากก่อนหน้านี้ไปหา $-\log_{10}(\text{BER})$ ในกรณีไม่มีการบีบแพ็คเกจ จากการสังเกตเราพบว่าวิธีที่นำเสนอวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ โดยรวมดีกว่าวิธีของ baseline แต่วิธีนำเสนอที่ 2 มีค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ต่ำกว่าวิธีวิธีนำเสนอที่ 1 และวิธี baseline เพราะส่วนฟังก์ชันกระแสเขียนมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบมากกว่าช่วงเวลาของส่วนฟังก์ชันกระแสเขียนดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้วิธีนำเสนอวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ต่ำกว่าในอีก 2 วิธี



รูปที่ 5.16 ผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดการบีบแตรริกของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี เทียบกับวิธีของ baseline

รูปที่ 5.16 แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดการบีบแตรริกของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี เทียบกับวิธีของ baseline จะเห็นได้ว่าวิธีนำเสนอทั้ง 2 วิธีนั้นมีผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นกว่าวิธีของ baseline เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่เพิ่มขึ้นของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี จะเห็นว่าวิธีนำเสนอวิธีที่ 2 จะให้ผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่าวิธีนำเสนอวิธีที่ 1



รูปที่ 5.17 ผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดไม่มีการบีบแตรีกของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี เทียบกับวิธีของ baseline

รูปที่ 5.17 แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ในโหมดไม่มีการบีบแตรีกของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี เทียบกับวิธีของ baseline จะเห็นได้ว่าวิธีนำเสนอที่ 1 โดยรวมจะมีผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มสูงขึ้นกว่าวิธีของ baseline แต่วิธีนำเสนอวิธีที่ 2 มีผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ เพิ่มต่ำกว่าวิธีของ baseline เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ ที่เพิ่มขึ้นของวิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธี จะเห็นว่าวิธีนำเสนอวิธีที่ 1 จะให้ผลต่างของค่าเฉลี่ย $-\log_{10}(\text{BER})$ สูงกว่าวิธีนำเสนอวิธีที่ 2

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก พบว่า ที่ความสัมพันธ์ของส่วนพุงเกินกระแสเขียนในช่วงที่แอมพลิจูดกระแสเขียนต่ำ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะอยู่ในช่วงระดับดีเมื่อส่วนพุงเกินกระแสเขียนประมาณ 66 มิลลิแอมป์ขึ้นไป เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนให้อยู่ในระดับกลางและสูง $-\log_{10}(\text{BER})$ จะอยู่ในช่วงระดับดีเมื่อส่วนพุงเกินกระแสเขียนประมาณ 54 มิลลิแอมป์ขึ้นไป จากความสัมพันธ์ช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนในช่วงที่แอมพลิจูดกระแสเขียนต่ำ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะอยู่ในช่วงระดับดีเมื่อค่าเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนประมาณ 378 พิโควินาทีขึ้นไป เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดกระแสเขียนให้อยู่ในระดับกลางและสูง $-\log_{10}(\text{BER})$ จะอยู่ในช่วงระดับดีเมื่อช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนประมาณ 264 พิโควินาทีขึ้นไป และในความสัมพันธ์แอมพลิจูดกระแสเขียนเมื่อกำหนดส่วนพุงเกินกระแสเขียนและช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนไว้ค่ากลาง $-\log_{10}(\text{BER})$ จะเข้าสู่สภาวะคงตัวในช่วงตั้งแต่แอมพลิจูดกระแสเขียนประมาณ 20 มิลลิแอมป์ขึ้นไป เมื่อกำหนดส่วนพุงเกินกระแสเขียนไว้ที่ระดับต่ำและช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนไว้ที่ระดับสูง การเข้าสู่สภาวะคงตัวของ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะเหมือนกับกรณีแรก แต่ในช่วงเริ่มต้นของแอมพลิจูดกระแสเขียนจะมี $-\log_{10}(\text{BER})$ แยกกว่ากรณีแรก ส่วนในกรณีที่กำหนดส่วนพุงเกินกระแสเขียนไว้ที่ระดับสูงและช่วงเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนไว้ที่ระดับต่ำ การเข้าสู่สภาวะคงตัวของ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะเหมือนกับทั้ง 2 กรณีแรก แต่ในช่วงแรกของแอมพลิจูดกระแสเขียนจะให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ สูง

ในการออกแบบไมสส์สัญญาณกระแสเขียนจะเห็นได้ว่าวิธีนำเสนอวิธีที่ 1 เป็นวิธีที่เหมาะสมกับกราฟที่คอนทราสต์มีลักษณะเส้นโค้งไม่เป็นเชิงเส้นกว่าวิธี baseline และวิธีนำเสนอวิธีที่ 2 เพราะวิธีนำเสนอวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ดีกว่าวิธี baseline ทั้งในระดับการบีบแตรที่เท่ากับ 3 เปรอร์เซ็นต์ และ 6 เปรอร์เซ็นต์ รวมถึงในโหมดไม่มีการบีบแตร ส่วนวิธีนำเสนอวิธีที่ 2 แม้ว่าให้ค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ดีกว่าอีก 2 วิธีก็ตาม แต่จะดีกว่าเฉพาะในโหมดการบีบแตรเท่านั้น เมื่อพิจารณาในโหมดไม่มีการบีบแตรจะพบว่าค่าเฉลี่ยของ $-\log_{10}(\text{BER})$ กลับแยกกว่าทั้ง 2 วิธี เนื่องจากค่าส่วนพุงเกินกระแสเขียนจะมีผลต่อสมรรถนะของระบบมากกว่าค่าเวลาของส่วนพุงเกินกระแสเขียนนั่นเอง นอกจากนี้ในการเลือกแอมพลิจูดกระแสเขียนที่กำหนดไว้ 8 ค่าในช่วง 26 – 49 มิลลิแอมป์

เพราะจากความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดกระแสเขียนที่ได้ แสดงให้เห็นว่าแอมพลิจูดกระแสเขียนในช่วงที่เลือก เป็นช่วงที่ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ มีการเข้าสู่สภาวะคงตัว จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ไม่ได้พิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์อื่นๆที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งยังมีผลกระทบอีกหลายส่วนที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นผู้ที่สนใจสามารถนำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ไปพัฒนาต่อได้โดยการพิจารณาถึงผลกระทบอื่นๆ รวมถึงเสนออัลกอริทึมในการถอดรหัสสัญญาณกระแสเขียนด้วยวิธีอื่น หรือปรับปรุงวิธีเดิมเพื่อลดความซับซ้อนบางอย่างในการถอดรหัสสัญญาณกระแสเขียน



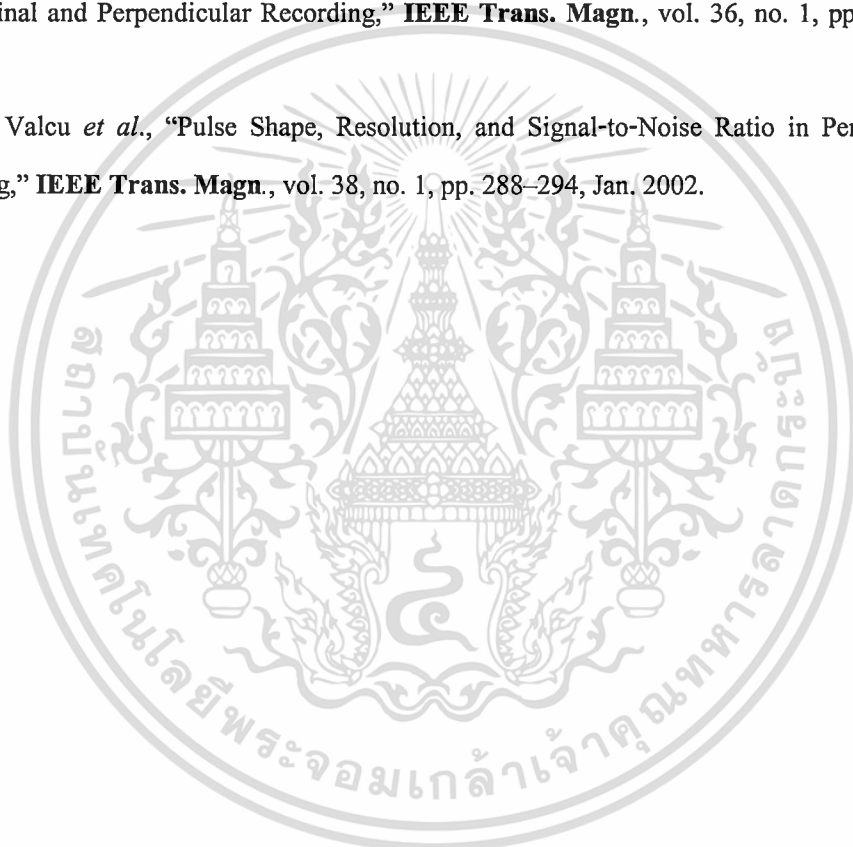
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Run-Hun Wang *et al.*, “Head Protrusion and Its Implications on Head-Disk Interface Reliability,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 37, no. 4, pp. 1842–1844, July. 2001.
- [2] D. Tongsomporn *et al.*, “The Effect of Head Protrusion on Recording Field for Perpendicular Recording System,” **The 2007 ECTI International Conference**, pp. 549–552, May 2007.
- [3] Daniel Z. Bai *et al.*, “Return Field-Induced Partial Erasure in perpendicular recording Using Trailing-Edge Shielded Writers,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 43, no. 2, pp. 600–604, Feb. 2007.
- [4] Alexander M. Taratorin and Klaas B. Klaassen, “Write Current Rise Time in Perpendicular Recording : An Experimental Study,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 43, no. 2, pp. 750–755, Feb. 2007.
- [5] A. Taratorin *et al.*, “High data rate recording: Moving to 2 Gbit/s,” **Journal of Applied Physics.**, vol. 93, no. 10, pp. 6444–6446, May 2003.
- [6] W. Scholz and S. Batra, “Effect of Write Current Waveform on Magnetization and Head-Field Dynamics of Perpendicular Recording Heads,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 42, no. 10, pp. 2264–2266, Oct. 2006.
- [7] Wen Jiang *et al.*, “Cross-track noise profile measurement for adjacent-track interference study and write-current optimization in perpendicular recording,” **Journal of applied physics.**, vol. 93, no. 10, pp. 6754–6756, May 2003.
- [8] M. Xiao *et al.*, “Write current optimization for single-pole and trailing-shield heads in perpendicular recording,” **Journal of applied physics.**, vol. 97, pp. 10N501-1–10N501-3, 2005.
- [9] A. Moser *et al.*, “Perpendicular magnetic recording technology at 230 Gbit/in²,” **Journal of Magnetism and Magnetic Materials.**, vol. 303, pp. 271–275, Feb. 2006.
- [10] E.D. Danial *et al.*, **Magnetic Recording: the first 100 years.** Wiley IEEE, 1998.
- [11] V. Poulsen, “The Telegraphone:a magnetic speech recorder,” **The Electrician**, vol. 46, pp. 208–210, 1900.
- [12] Albert S. Hoagland, “History of Magnetic Disk Storage Based on Perpendicular Magnetic Recording,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 39, no. 4, pp. 1871–1875, July 2003.

- [13] Roger Allan, "Samsung HDD Touts Highest Storage: Smallest Footprint," **Samsung Hard Disk Drive**, [Online]. Available: <http://electronicdesign.com/>
- [14] S. X. Wang and A. M. Taeatorin. **Magnetic information storage technology**. San Diego: Academic Press, 1999.
- [15] H. J. Richter *et al.*, "Theoretical Analysis of Longitudinal and Perpendicular Recording Potential," **IEEE Trans. Magn.**, vol. 39, no. 2, pp. 697–703, March 2003.
- [16] P. Kovintavewat. **Signal Processing for Digital Data Storage Volume I: Basic Read-Write Channels**, National Electronics and Computer Technology Center, 2007.
- [17] B. Sklar. **Digital Communication**. Printice-Hall, 2001.
- [18] K. A. Immink, "Runlength-limited sequences," **IEEE Proceeding**, vol. 78, no. 11, pp. 1745–1759, Nov. 1990.
- [19] A. Ghrayeb and W. E. Ryan, "Precoder design for concatenating convolution codes with genelized partial response channels," **Globecom'00 Proceeding**, San Francisco, CA, pp. 1859–1864, 2000.
- [20] Y. Lin and R. Wood, "An estimation technique for accurately modeling the magnetic recording channel including nonlinearities," **IEEE Trans. Magn.**, vol. 25, no. 5, pp. 4058–4060, July 1989.
- [21] V. Vasic and E. M. Kurtas. **Coding and signal processing for magnetic recording system**. New York: CRC Press, 2005.
- [22] C. Denis and E. D. Daniel. **Magnetic recording technology**. New York, McGraw-Hill, 1990.
- [23] G. D. Forney, "Maximum-likelihood estimation of digital sequence in the presence of intersymbol interference," **IEEE Trans. Magn.**, vol. IT-18, no. 3, pp. 363 – 378, May 1972.
- [24] H. Ikekame, Kokubunji, T. Yamashita, Tachikawa. **OVERSHOOT CURRENT PHASE/AMPLITUDE CONTROL FOR HARD DISK DRIVE WRITE CURRENT**. U.S. Patent no. 6870697B2. March 2005.
- [25] K. Z. Gao, O. Heinonen, Y. Chen, "Read and write processes, and head technology for perpendicular recording," **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, Vol. 321, 495–507. 2009.

- [26] K. Z. Z. Jin. **MULTI-PARAMETER OPTIMIZATION OF WRITE HEAD PERFORMANCE USING ADPTIVE RESPONSE SURFACE**. U.S. Patent no. 20100134911. March 2010.
- [27] Jan van Ek *et al.*, “Micromagnetic Recording Model of Pole-Tip Saturation Effects,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 36, no. 6, pp. 3975–3983, Nov. 2000.
- [28] Kanu G. Ashar. **Magnetic Disk Drive Technology**. New York, IEEE PRESS 1997.
- [29] H. N. Bertram and M. Williams, “SNR and Density Limit Estimates: A Comparison of Longitudinal and Perpendicular Recording,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 36, no. 1, pp. 4–9, Jan. 2000.
- [30] Bogdan Valcu *et al.*, “Pulse Shape, Resolution, and Signal-to-Noise Ratio in Perpendicular Recording,” **IEEE Trans. Magn.**, vol. 38, no. 1, pp. 288–294, Jan. 2002.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

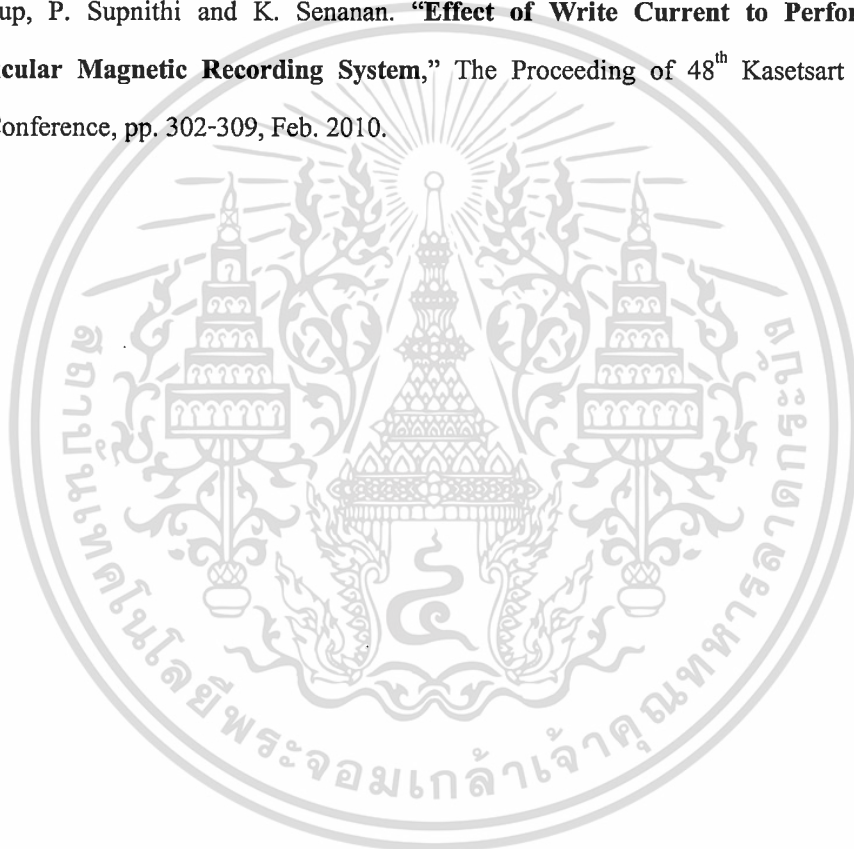


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่

1. P. Pliamsup, P. Supnithi and K. Senanan. **“Write Current Optimization From the Contour Graph,”** Proceedings The 3rd International Data Storage Technology Conference, pp. 34-36, July, 2010.
2. P. Pliamsup, P. Supnithi and K. Senanan. **“Effect of Write Current to Performance of Perpendicular Magnetic Recording System,”** The Proceeding of 48th Kasetsart University Annual Conference, pp. 302-309, Feb. 2010.



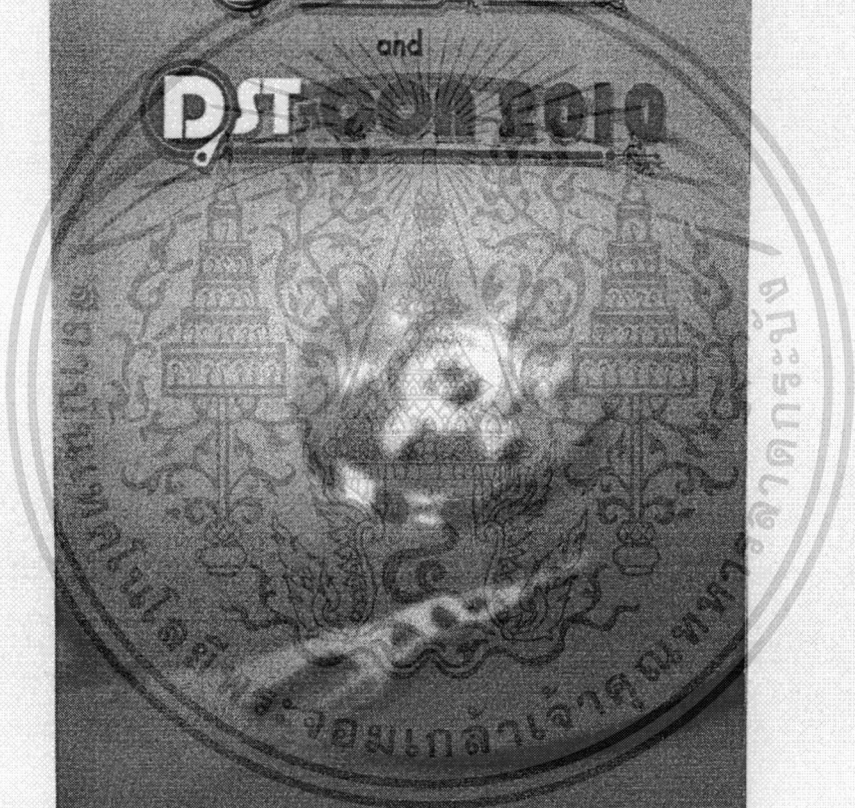
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PROGRAM BOOK

HardDisk Drive EXPO 2010

and
DST EXPO 2010



Bangkok International Trade and Exhibition Centre (BITEC)
Bangkok, Thailand

July 30 - August 1, 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Write Current Optimization From the Contour Graph

Pornchai Pliamsup¹, Pornchai Supnithi¹, Kanawat Senanan²

¹Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Seagate Technology (Thailand) Co., Ltd., Nakorn Rachasima, Thailand

Abstract—In this paper, we propose a method of write current optimization based on the contour graph in which three parameters of the write current: write current amplitude, write current overshoot and write current duration we selected. The proposed method has the performance better than the baseline method. The fixed write current duration performs better than the fixed write current overshoot when considering the squeeze levels, and the fixed write current overshoot performs better than the fixed write current duration when considering the unsqueeze levels because the write current overshoot affects the performance more than the write current duration dose.

Index Terms—Write current optimization, Write current amplitude, Write current overshoot, Write current duration, Squeeze and $-\log_{10}(\text{BER})$.

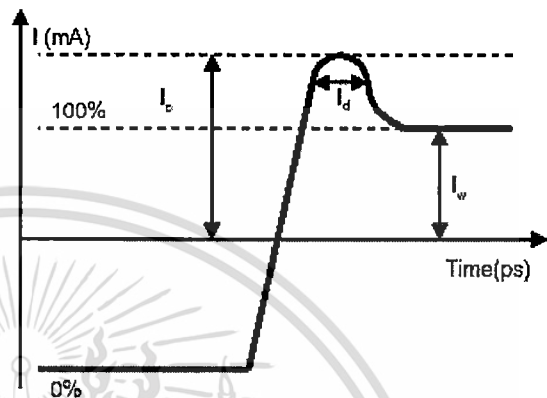


Fig. 1 The write current waveform at the output of a preamplifier

I. INTRODUCTION

THE capacity of hard disk drive is an important factor for the hard disk drive design and optimization. There are two parts of the basic elements: heads and media.

Currently, the industrial design of a hard disk drive has the near densities at $\sim 1,000$ kbp, track densities between 200–40 ktpi equivalently areal densities more than 200 Gb/in^2 [1]. Thus, three parameters for write current are used to optimize the areal densities. The increase of the write current amplitude causes not only the write magnetic field to increase but the temperature of the heads to increase resulting to the heads which protrude to the media [2], [3] and affects the return magnetic field underneath the trailing shield [4]. The write current overshoot increases resulting to shorter switching times of pole or large amount of grain change pole [5] and helps to overcome bandwidth limitations in the write driver, interconnects and write head. However, excessive write current overshoot may cause pattern-dependent transition shifts and significant distortions of recorded transitions [6], [7]. Therefore, the write current optimization is important to perpendicular magnetic recording system [1], [8], [9].

This paper is organized as follows. After explaining the write current waveform in Section II, Section III return filed-induced partial erasure. Section IV squeeze condition. Section V write current optimization. Section VI result and discussion. Finally, Section VII concludes this paper.

II. WRITE CURRENT WAVEFORM

The write current waveform at the output of a preamplifier is shown in Fig. 1 [10]. The preamplifier transforms the data bits into the write current waveform, then sends it to the coil of writer causing magnetic induction in the gap between heads and media [11], [12]. There are three parameters for the write current waveform: write current amplitude (I_w), write current overshoot (I_o) and write current duration (I_d).

A. Write current amplitude

The current was applied for demagnetization on media or change the polarity of the data bits as the write current amplitude. The magnetic of the writer must intensify more than the magnetization of media. On the other hand, the magnetization remains on media resulting to an irregular direction of grain. When the write current amplitude is increased, the heads protrude to the media [2], [3] resulting to the reader received magnetic from side track call adjacent track interference (ATI).

B. Write current overshoot

The current over the write current amplitude and the effect of the write current overshoot to switching times and an amount of grains changing polarity. Lower write current overshoot levels results to longer switching times and amount of grain slightly changed. In contrast, higher write current overshoot levels results to shorter switching times, then an amount of grain increasingly changed. However, it causes the transition shift result in inter-symbol interference (ISI) [5], [6], [7].

Write current duration

Lower write current duration levels results to shorter converging into write current amplitude. On the other hand, it results in longer converging. However, it is not used in practice because the side effect of heads protruded through the media.

III. RETURN FIELD-INDUCED PARTIAL ERASURE

The perpendicular component of the field underneath the trailing shield (TS) is of opposite direction to that of the main write pole (MP), the bits will experience this reverse field on the TS immediately after being written by the MP. Although the dimension of the TS is much larger than the MP on the air-bearing surface (ABS), the return flux is mainly localized to the close proximity of the MP across the write gap. Therefore, the return field under the TS could be fairly high, especially with low fly height and/or high write current. In such cases, the return field may partially erase the newly written bits, causing return field-induced partial erasure (RFPE). The Stoner-Wohlfarth field is defined as follows:

$$H_{sw} = \left[(H_x^2 + H_z^2)^{1/3} + H_y^{2/3} \right]^{3/2} \cdot \text{sign}(H_y), \quad (1)$$

where H_x and H_z are the field components in the downtrack and cross-track directions, respectively, and H_y is the perpendicular field component [4].

IV. SQUEEZE CONDITION

The squeeze distributed two models: DC – squeeze and AC squeeze. The DC – squeeze is the diametrical shift of the side track into the test track. The AC – squeeze is the diametrical shift of the side track and test track encounter as shown in Fig. 2

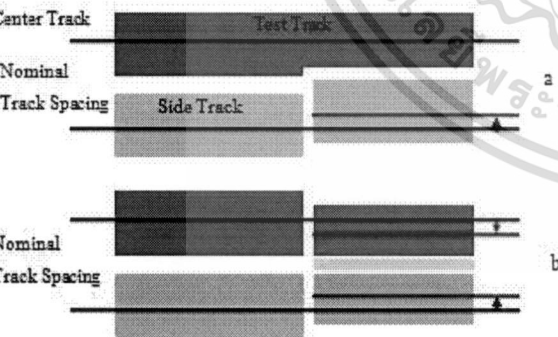


Fig. 2 (a) DC – squeeze, (b) AC – squeeze

V. WRITE CURRENT OPTIMIZATION

The write current optimization is necessary to achieve required areal density. The write current optimization selects the optimal three parameters: write current amplitude, write current overshoot and write current duration. But the writing

process has unequal track size. Consequently, the squeeze is considered to the performance test or the write current optimization, which AC-squeeze is extensively used in the industrial production. Because the write current selection of the industrial uses the perfect contour graph. Therefore, we propose the optimum write current selection method for the imperfect contour graph which the proposed method is described in the next section.

VI. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section, we present the write current optimization by selecting the contour graph showing the $-\log_{10}(\text{BER})$ average. In the experiment there is capacity about 500 – 1,000 GB/drive, areal density maximum in the drive more than 300 Gb/in², track density (0 - skew) more than 200 kTPI, linear density maximum in the drive more than 1,000 kBPI and data rate maximum in the drive more than 1,000 Mbps. We used squeeze levels at three and six percentages and also divide into two cases: fix write current overshoot and then select the write current amplitude and the write current duration, fix write current duration and then select the write current amplitude and write current overshoot. The write current optimization is proposed the write current selection, which different baseline method is selectively the twenty four points of the contour graph. After that, select the eight points with the best $-\log_{10}(\text{BER})$ as shown in Fig. 3.

In Fig. 4, we can see that all proposed method yield the average $-\log_{10}(\text{BER})$ more than the baseline method. Because there are increase the selective amount of the write current and write current amplitude or write current duration/overshoot can be repeatedly selected. When we specifically consider our proposed method, we found that the case of three percentages squeeze levels has the average $-\log_{10}(\text{BER})$ more than six percentages over the squeeze levels in both cases fixing of the write current overshoot and fixing the write current duration. This is because the squeeze levels at three percentages shift between test track and side track less than the six percentage squeeze levels. Thus, the read head receives the signal from side track lower than the case of six percentage squeeze. Moreover, we observe that the fixed write current duration yields the average $-\log_{10}(\text{BER})$ more than the fixed write current overshoot because the write current overshoot affects

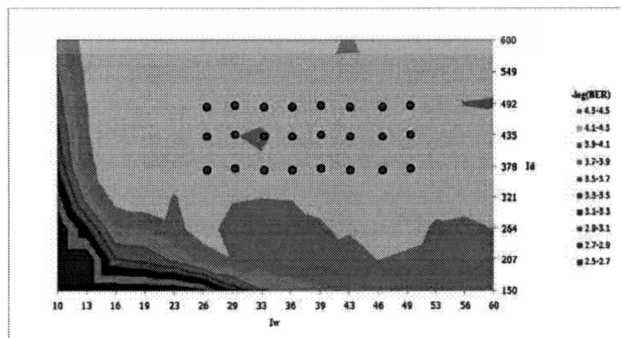
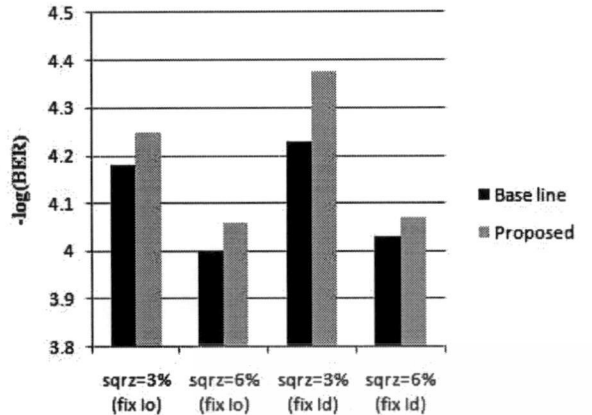


Fig. 3 The example for write current selection of the propose method, where select the eight points at the best of $-\log_{10}(\text{BER})$ from the twenty four points.



that the proposed method has the better performance than the baseline method for both the squeeze and unsqueeze cases.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Industry/University Cooperative Research Center in Data Storage Technology and Applications, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang and National Electronics and Computer Technology Center, National Science and Technology Development Agency under grant HDD-01-51-05M.

REFERENCES

- [1] A. Moser *et al.*, “Perpendicular magnetic recording technology at 230 Gbit/in²,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*, vol. 303, pp. 271 – 275, 2006.
- [2] R. H. Wang *et al.*, “Head Protrusion and Its Implications on Head-Disk Interface Reliability,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-37, pp. 1842 – 1844, July 2001.
- [3] D. Tongsomporn *et al.*, “The Effect of Head Protrusion on Recording Field for Perpendicular Recording System,” *ECTI-CON 2007.*, vol. 1, pp. 549-552, May 2007.
- [4] D. Z. Bai *et al.*, “Return Field-Induced Partial Erasure in Perpendicular Recording Using Trailing-Edge Shielded Writers,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-43, pp. 600–604, February 2007.
- [5] A. M. Taratorin and K. B. Klaassen, “Write Current Rise Time in Perpendicular Recording : An Experimental Study,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-43, pp. 750–755, February 2007.
- [6] A. Taratorin *et al.*, “High data rate recording: Moving to 2 Gbit/s,” *Journal of applied physics.*, vol. 93, pp. 6444 – 6446, May 2003.
- [7] W. Scholz and S. Batra, “Effect of Write Current Waveform on Magnetization and Head-Field Dynamics of Perpendicular Recording Heads,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-42, pp. 2264 –2266, October 2006.
- [8] Wen Jiang *et al.*, “Cross-track noise profile measurement for adjacent-track interference study and write-current optimization in perpendicular recording,” *Journal of applied physics.*, vol. 93, pp. 6754 – 6756, May 2003.
- [9] M. Xiao *et al.*, “Write current optimization for single-pole and trailing-shield heads in perpendicular recording,” *Journal of applied physics.*, vol. 97, pp. 10N501-1 – 10N501-3, 2005.
- [10] Ikekame *et al.*, “OVERSHOOT CURRENT PHASE/AMPLITUDE CONTROL FOR HARD DISK DRIVE WRITE CURRENT”, U.S. Patent 6870697B2, Mar. 2005.
- [11] P. Kovintavawat, Signal Processing for Digital Data Storage Volume I: Basic Read-Write Channels, *National Electronics and Computer Technology Center*, 2007.
- [12] P. Kovintavawat, Signal Processing for Digital Data Storage Volume II: Receiver Design, *National Electronics and Computer Technology Center*, 2007.

Fig. 4 the -log₁₀(BER) average at the squeeze that compare between the proposed method and the baseline method.

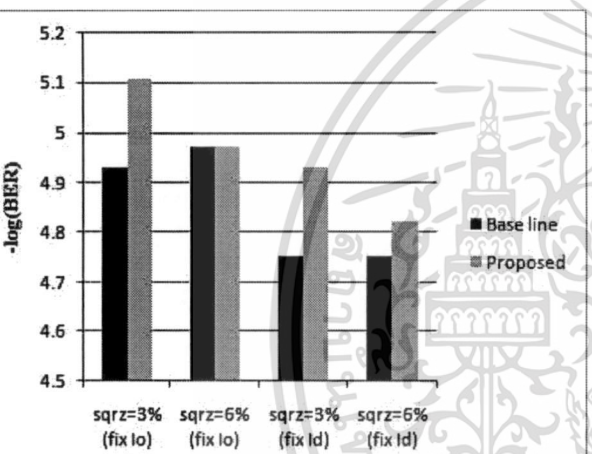


Fig. 5 the -log₁₀(BER) average at the unsqueeze that found selectively the write current at the squeeze, which compare between the proposed method and the baseline method.

the performance of the system more than the write current duration.

In Fig. 5, we show -log₁₀(BER) average of the unsqueeze mode which find the write current selection of the proposed method at the squeeze = 3% and 6%. From the observation, we found that the proposed method has the -log₁₀(BER) average more than the baseline method, and the fixed write current overshoot has the -log₁₀(BER) average more than the fixed write current duration. Because the write current overshoot selected from the fix write current overshoot more than the write current overshoot of the fix write current duration, in other words, the write current overshoot affect to the performance of the system more than the write current duration.

VII. CONCLUSION

This paper proposes the write current optimization by selecting the write triplet from the contour graph, which show

ผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง
Effect of Write Current to Performance of Perpendicular Magnetic Recording System

พรชัย เปลี่ยมทรัพย์¹ พรชัย ทรัพย์นิธิ¹ และกัณวดีม์ เสนานานู²

Pornchai Pliamsup Pornchai Supnithi and Kanawat Senanan

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของกระแสเขียนที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง และแสดงผลออกมาในรูปของ $-\log_{10}(\text{BER})$ โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ของกระแสเขียน 2 ตัวแปรคือ แอมพลิจูดของกระแส (current amplitude: I_w) และส่วนพุ่งเกินของกระแส (current overshoot: I_o) โดยที่ I_w นั้นจะทำให้เกิดการยื่นออก (protrusion) ของหัวบันทึก (recording head) และการแทรกสอดระหว่างแทร็ก (adjacent track interference: ATI) ส่วน I_o จะทำให้เกิดการเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะ (transition shift) และยังมีผลกระทบของการลบบางส่วนของสนามแม่เหล็กย้อนกลับ (return field-induced partial erasure: RFPE) จากหัวเขียนอีกด้วย ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มค่า I_w และ I_o ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ จะดีขึ้นเฉพาะในกรณี unsqueezed แต่ในกรณี squeezed นั้นเป็นผลให้สมรรถนะต่ำลงตามเปอร์เซ็นต์ของการ squeezed ที่สูงขึ้น

ABSTRACT

This paper studies the effects of write current on the performance of perpendicular magnetic recording system, and the results are shown in terms of $-\log_{10}(\text{BER})$. Consider two parameters of the write current: current amplitude (I_w) and current overshoot (I_o). I_w determines protrusion level of the recording heads and the adjacent-track interference (ATI) effect, whereas I_o causes the transition shift effect and the return field-induced partial erasure (RFPE) effect. The increase of I_w and I_o leads to performance improvement in an unsqueezed case, but the performance it degrades in a squeezed case.

Key Words: write current, current amplitude, current overshoot, RFPE

P.Pliamsup: s1060914@kmitl.ac.th

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

² บริษัทซีเทคเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด นครราชสีมา ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Seagate Technology (Thailand) Co., Ltd., Nakorn Rachasima, Thailand

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

สมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง เป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบและออปติไมซ์ (optimize) ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate) หรือ BER จะเป็นตัววัดคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การออกแบบและการออปติไมซ์ผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับหลายส่วนด้วยกันเช่น สื่อบันทึก (media) หัวอ่าน - เขียน (heads) และช่องสัญญาณอ่าน - เขียน (read - write channel) เป็นต้น

ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (areal density) บนสื่อบันทึก (media) เป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบการเพิ่มความจุ (capacity) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งมีหลายองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกัน เช่น ความหนาแน่นเชิงเส้น (linear density) ความหนาแน่นเชิงแทร็ก (track density) หัวเขียน (write head) และกระแสเขียน (write current) เป็นต้น ซึ่งในการออปติไมซ์ความหนาแน่นเชิงพื้นที่จะใช้ความหนาแน่นเชิงเส้น ความหนาแน่นเชิงแทร็ก และกระแสเขียนเป็นตัวปรับให้ได้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม กระแสเขียนยังมีผลต่อสมรรถนะของระบบบันทึกเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง โดยกระแสเขียนจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์อยู่ 3 ตัวแปรคือ แอมพลิจูดของกระแส (current amplitude: I_w) ส่วนพุ่งเกินกระแส (current overshoot: I_o) และเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแส (current duration: I_d) การเพิ่ม I_w ให้กับหัวเขียน ไม่เพียงแต่ทำให้สนามแม่เหล็กเขียน (write magnetic field) เพิ่มขึ้น ยังทำให้หัวบันทึกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลให้หัวบันทึกยื่นออก (protrusion) เข้าใกล้สื่อบันทึกมากขึ้น [1], [10] และยิ่งก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กย้อนกลับได้ trailing shield อีกด้วย [8] ส่วนการเพิ่มค่า I_o จะทำให้ใช้เวลาสั้นลงในการสวิตช์หัว จำนวนแทรกที่เปลี่ยนหัวจะมากขึ้น [9] และช่วยให้ข้ามผ่านแบนด์วิดท์ที่จำกัดในการขับเคลื่อนการเขียน (write driver) การเชื่อมต่อ (interconnects) และหัวเขียน แต่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเลื่อนการเปลี่ยนสถานะ (transition shifts) และเกิดความผิดเพี้ยนของการเปลี่ยนสถานะการบันทึก [2], [7] ดังนั้น การออปติไมซ์กระแสเขียนจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง [3], [5], [6]

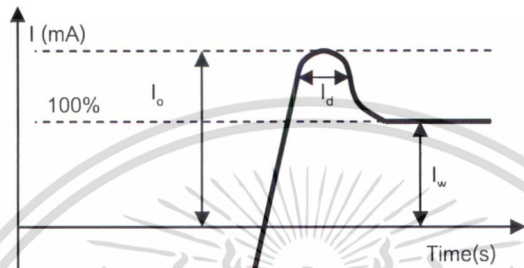
ดังนั้น ในงานวิจัยนี้เราจึงได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของ $-\log_{10}(\text{BER})$ ซึ่งเราให้ความสนใจกับพารามิเตอร์ของกระแสเขียนเพียง 2 ตัวแปรเท่านั้นได้แก่ I_w และ I_o โดยได้ทำการทดลอง 2 แบบคือ แบบที่ 1 กำหนดค่า I_o แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_w ส่วนในแบบที่ 2 กำหนดค่า I_w แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_o จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของ I_w และ I_o ที่มีต่อระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง

ในบทความนี้เราได้ทำการอธิบายดังต่อไปนี้ ในส่วนที่ 2 สัญญาณกระแสเขียนที่วางจอร์ preamplifier ซึ่งอธิบายพารามิเตอร์ของสัญญาณทั้ง 3 ตัวแปรคือ I_w , I_o และ I_d และการลบบางส่วนจากสนามแม่เหล็กย้อนกลับ (Return field-induced partial erasure: RFPE) ส่วนที่ 3 เราทำการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้ โดยแยกออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 จะกำหนดค่า I_o ไว้เท่ากับ 78 มิลลิแอมป์ แล้วดูความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_w ในการทดลองที่ 2 ได้มีการกำหนดค่า $I_w = 26$ มิลลิแอมป์ ดูความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_o จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณกระแสเขียนที่วงจร preamplifier

รูปที่ 1 สัญญาณกระแสเขียนที่วงจร preamplifier ซึ่งดัดแปลงมาจาก [4] บ่อนให้กับหัวเขียนโดยที่แกนนอนคือแกนของเวลาและแกนตั้งคือแกนของกระแส วงจร preamplifier จะแปลงบิตข้อมูลให้อยู่ในรูปของกระแสเขียนและส่งผ่านไปยังขดลวดของหัวเขียน ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นสนามแม่เหล็กเขียนบริเวณช่องว่าง (gap) ระหว่างสื่อบันทึกกับหัวบันทึกในการบันทึกข้อมูล [11], [12] สัญญาณกระแสเขียนจะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 3 ตัวแปรได้แก่ แอมพลิจูดของกระแส (write current amplitude: I_w) ส่วนพุ่งเกินกระแส (current overshoot: I_o) และเวลาของส่วนพุ่งเกินกระแส (current duration: I_d)



รูปที่ 1 สัญญาณกระแสเขียนที่วงจร preamplifier บ่อนให้กับหัวเขียน

แอมพลิจูดของกระแส คือกระแสที่จ่ายไปเพื่อลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกหรือทำให้มีการเปลี่ยนขั้วของบิตข้อมูลตาม I_w ที่จ่ายให้กับหัวเขียน I_w ที่ถูกบ่อนไปยังขดลวดของหัวเขียน จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเขียนบริเวณช่องว่างระหว่างสื่อบันทึกกับหัวเขียน และสนามแม่เหล็กเขียนจะต้องมีขนาดหรือความเข้มมากกว่าสภาพลบล้างความเป็นแม่เหล็กของสื่อบันทึก ถ้าค่า I_w ต่ำกว่าจะทำให้สภาพความเป็นแม่เหล็กยังคงหลงเหลืออยู่ เป็นผลทำให้ทิศทางของเกรน (grain) ในสื่อบันทึกไม่เป็นไปตามที่ควรจะเป็น และเมื่อค่า I_w สูงขึ้นทำให้เกรนในสื่อบันทึกมีทิศทางที่ควรจะเป็น แต่ทำให้หัวบันทึกยึดออกเข้าไปใกล้กับสื่อบันทึกมากขึ้นด้วย [1] เป็นผลทำให้สนามแม่เหล็กเขียนที่ถูกสร้างขึ้นจากหัวเขียนนั้นไปกระทบกับแทร็กข้างเคียง เมื่อหัวอ่าน อ่านสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากแทร็กข้างเคียงกลับมาด้วยหรือที่เรียกว่า adjacent track interference (ATI)

ส่วนพุ่งเกินกระแส คือกระแสส่วนที่พุ่งเกิน I_w โดยที่ค่า I_o จะมีผลต่อการสวิตช์ขั้ว และจำนวนของเกรนที่เปลี่ยนขั้ว ถ้า I_o ต่ำ จะใช้เวลานานในการสวิตช์ขั้ว เกรนที่เปลี่ยนขั้วจะมีจำนวนน้อย แต่ที่ I_o สูง ทำให้การสวิตช์ขั้วเร็วขึ้น เกรนที่เปลี่ยนขั้วมีจำนวนมากขึ้น ทำให้สัญญาณอ่านกลับ (read-back signal) ดีขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า I_o สูง ทำให้เกิดการเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะ เป็นผลทำให้เกิด ISI

เวลาของส่วนพุ่งเกินกระแส คือเวลาของส่วนที่พุ่งเกิน I_w ซึ่งจะวัดจากความกว้างของสัญญาณโดยวัดจากครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุด และจะมีผลต่อการลู่เข้าสู่ I_w ที่ค่า I_d แคบจะทำให้การลู่เข้าสู่ค่า I_w ได้เร็วขึ้น แต่ถ้า I_d กว้างจะทำให้การลู่เข้าสู่ค่า I_w ได้ช้าลง แต่ในทางปฏิบัติจะไม่นำ I_d ที่มีขนาดกว้างมาใช้งานเนื่องจากจะมีผลข้างเคียงทำให้หัวเขียนยื่นเข้าใกล้สื่อบันทึกมากขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อระบบโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 2 แบบ

	แบบที่ 1	แบบที่ 2
current amplitude(มิลลิแอมป์)	10 – 60	26
current overshoot (มิลลิแอมป์)	78	48 – 120
squeezed (%)	0, 3, 6 และ 12	0, 3, 6 และ 12
track	1	1
sectors	864	864

ในการทดลองนี้ได้เลือกไดรฟ์ที่มีพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยที่จะทำการทดลองจำนวน 1 แทร็กด้านในสุดของไซน แต่ทำการทดลองเพียง 864 เซกเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ของกระแสเขียนที่ใช้ประกอบไปด้วย $I_w = 10 - 60$ มิลลิแอมป์ และ $I_o = 48 - 120$ มิลลิแอมป์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ diagnostic device และคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แสดงรูปแบบการต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 2 ซึ่งพารามิเตอร์ในตารางที่ 2 สามารถกำหนดได้จากคอมพิวเตอร์ที่ส่งคำสั่งผ่าน diagnostic device ไปยังไดรฟ์ และรับผลที่ได้กลับมายังคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2 รูปแบบการต่ออุปกรณ์ของการทดลอง

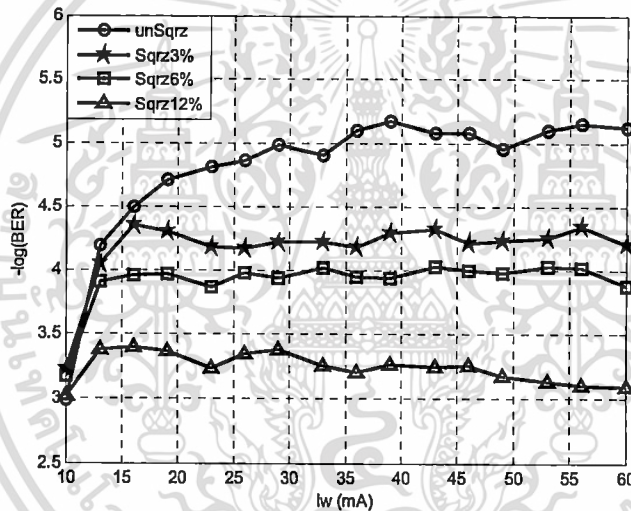
ในการทดลองจะแบ่งเป็น 2 แบบคือการทดลองแบบที่ 1 กำหนดค่า I_o ไว้เท่ากับ 78 มิลลิแอมป์ แล้วเปลี่ยนค่าของ I_w ส่วนในการทดลองแบบที่ 2 กำหนดค่า I_w เท่ากับ 26 มิลลิแอมป์ แล้วเปลี่ยนค่า I_o จากนั้นวัดค่าออกมาในรูปของ $-\log_{10}(BER)$ ซึ่งในแต่ละกรณีเราได้ทำการทดลองที่ unsqueezed และที่มีการ squeezed = 3%, 6% และ 12% ดังนั้นที่ค่าของ $-\log_{10}(BER)$ มีค่าสูงหมายความว่าระบบจะมีสมรรถนะที่ดีขึ้น ในทางกลับกันถ้าค่าของ $-\log_{10}(BER)$ มีค่าต่ำแสดงถึงระบบมีสมรรถนะที่แยกลง และค่าของ $-\log_{10}(BER)$ สามารถนิยามได้จาก

$$-\log_{10}(BER) = -\log_{10}\left(\frac{N_e}{N_t}\right) \quad (2)$$

โดยที่ N_e คือจำนวนบิตที่ผิดพลาด และ N_t คือจำนวนบิตทั้งหมดที่เขียนลงในสื่อบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_w โดยกำหนดให้ I_0 เท่ากับ 78 มิลลิแอมป์ ในกรณีที่ unsqueezed ค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะดีขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของ I_w ทั้งนี้เนื่องจากค่า I_w เริ่มต้นไม่สามารถลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกทั้งหมดได้ เป็นผลให้บิตที่เขียนลงไปบนสื่อบันทึกมีทิศทางผิดเพี้ยนไปทีละบิตจะเป็น หลังจากเพิ่มค่า I_w ไปจนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกหมดไป บิตที่เขียนลงไปมีทิศทางที่ถูกต้อง และเมื่อเพิ่มค่า I_w ให้สูงขึ้น จะมีค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากทุกค่าของ I_w ที่เพิ่มขึ้นสามารถลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กบนสื่อบันทึกได้หมด แต่กลับส่งผลให้หัวบันทึกลดต่ำลงเข้าใกล้สื่อบันทึกมากขึ้นจากปกติ จึงทำให้ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนในกรณีที่มีการ squeezed ที่ I_w ในช่วงแรกค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ จะดีขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีเหตุผลเดียวกันกับในกรณีที่ unsqueezed แต่เมื่อเพิ่ม I_w สูงขึ้นค่าของ $-\log_{10}(\text{BER})$ กลับมีค่าเท่าเดิมไปจนถึงแรงแล่งนั้น มีผลมาจากการเลื่อนแทร็กกลาง (center track) ของแทร็กที่ทำการทดสอบ (test track) และแทร็กข้างเคียง (side track) เข้าหากัน ดังนั้นเมื่อเวลาหัวอ่าน ทำการอ่านสัญญาณจะรับสนามแม่เหล็กจากแทร็กข้างเคียงมาด้วย อย่างไรก็ตาม ถ้าเพิ่มการ squeezed สูงขึ้นก็จะยิ่งทำให้ $-\log_{10}(\text{BER})$ แล่งตามไปด้วย

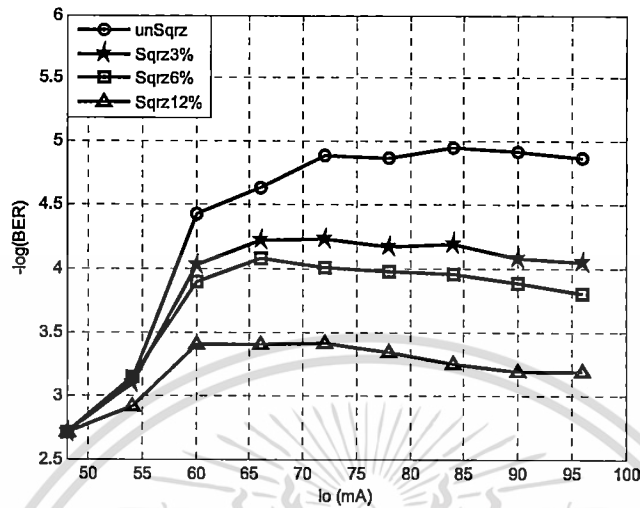


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_w

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_0 โดยกำหนดให้ค่า $I_w = 26$ มิลลิแอมป์ ในกรณีที่ unsqueezed จะเห็นได้ว่าค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ จะดีขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของค่า I_0 มีสาเหตุมาจากที่ค่า I_0 เริ่มต้นทำให้ใช้เวลานานในการสวิตช์ขั้ว และมีจำนวนของเกรนที่เปลี่ยนขั้วน้อย เมื่อมีการเพิ่มค่า I_0 จะทำให้เวลาในการสวิตช์ขั้วเร็วขึ้น ดังนั้นจึงมีจำนวนของเกรนที่เปลี่ยนขั้วมากขึ้นด้วย หลังจากนั้น เมื่อเพิ่มค่า I_0 สูงขึ้นอีก จะสังเกตเห็นว่าค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ มีการเปลี่ยนแปลงค่าเล็กน้อย เนื่องจากที่ค่า I_0 สูงขึ้น ทำให้ใช้เวลาสั้นลงในการสวิตช์ขั้ว อย่างไรก็ตามแต่จำนวนของเกรนที่เปลี่ยนขั้วนั้นจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เพราะจำนวนของเกรนที่เปลี่ยนขั้วจะมีผลที่ระดับ I_0 ค่าหนึ่งเท่านั้น ส่วนในกรณีการ squeezed ที่ 3 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ ตกลงมาครึ่งเท่าเมื่อเทียบกับกรณีของ unsqueezed ในช่วงแรกของค่า I_0 จะเห็นว่าค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ ดีขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีเหตุผลเดียวกันกับกรณี unsqueezed และเมื่อเพิ่มค่า I_0 สูงขึ้นไปอีกจะเห็นว่าค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ นั้นแรงแ่ง เนื่องจากที่ค่า I_0 สูงขึ้น จะทำให้ใช้เวลาสั้นลงในการสวิตช์ขั้ว แต่มีผลทำให้เกิดการเลื่อนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนสถานะ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบของ ISI ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มการ squeezed จะสังเกตเห็นว่า ค่า $-\log_{10}(\text{BER})$ แ่ลงตามไปด้วย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-\log_{10}(\text{BER})$ และ I_o

สรุป

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาของความสัมพันธ์แอมพลิจูดของกระแสเขียนและส่วนพุงเกินของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่า การเพิ่มค่าแอมพลิจูดของกระแสเขียนจะส่งผลดีต่อระบบในกรณีที่ไม่ squeezed เท่านั้น แต่ในกรณีที่มีการ squeezed เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของกระแสเขียนเกินระดับ 20 มิลลิแอมป์สูงขึ้นทำให้ค่าของสมรรถนะของระบบต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มแอมพลิจูดของกระแสเขียนทำให้หัวบันทึกยึดออก เป็นสาเหตุให้เกิด ATI ในกรณีของส่วนพุงเกินของกระแสเขียนพบว่า ในกรณีที่ไม่ squeezed สมรรถนะของระบบจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนพุงเกินของกระแสเขียนสูงขึ้น แต่ในทางกลับกัน ในกรณีที่ถูก squeezed สมรรถนะของระบบจะต่ำลงตามการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของการ squeezed เพราะแม้ว่าการเพิ่มส่วนพุงเกินของกระแสเขียนทำให้ใช้เวลาสั้นลงในการสวิตช์หัว แต่เป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบของ ISI ผลการทดลองจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ในการเลือกค่ากระแสเขียนไม่สามารถพิจารณาจากกรณีที่ไม่ squeezed เพียงอย่างเดียวได้ จะต้องพิจารณาในกรณีที่มีการ squeezed ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักวิจัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งานสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) และบริษัทที่เกาเทคโนโลยีจำกัด (ประเทศไทย) ภายใต้ทุนหมายเลข HDD-01-51-05M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. H. Wang *et al.*, "Head Protrusion and Its Implications on Head-Disk Interface Reliability," *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-37, pp. 1842 – 1844, July 2001.
- [2] A. Taratorin *et al.*, "High data rate recording: Moving to 2 Gbit/s," *Journal of applied physics.*, vol. 93, pp. 6444 – 6446, May 2003.
- [3] Wen Jiang *et al.*, "Cross-track noise profile measurement for adjacent-track interference study and write-current optimization in perpendicular recording," *Journal of applied physics.*, vol. 93, pp. 6754 – 6756, May 2003.
- [4] Ikekame *et al.*, "OVERSHOOT CURRENT PHASE/AMPLITUDE CONTROL FOR HARD DISK DRIVE WRITE CURRENT", U.S. Patent 6870697B2, Mar. 2005.
- [5] M. Xiao *et al.*, "Write current optimization for single-pole and trailing-shield heads in perpendicular recording," *Journal of applied physics.*, vol. 97, pp. 10N501-1 – 10N501-3, 2005.
- [6] A. Moser *et al.*, "Perpendicular magnetic recording technology at 230 Gbit/in²," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*, vol. 303, pp. 271 – 275, 2006.
- [7] W. Scholz and S. Batra, "Effect of Write Current Waveform on Magnetization and Head-Field Dynamics of Perpendicular Recording Heads," *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-42, pp. 2264 –2266, October 2006.
- [8] D. Z. Bai *et al.*, "Return Field-Induced Partial Erasure in Perpendicular Recording Using Trailing-Edge Shielded Writers," *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-43, pp. 600–604, February 2007.
- [9] A. M. Taratorin and K. B. Klaassen, "Write Current Rise Time in Perpendicular Recording : An Experimental Study," *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-43, pp. 750–755, February 2007.
- [10] D. Tongsoomporn *et al.*, "The Effect of Head Protrusion on Recording Field for Perpendicular Recording System," *ECTI-CON 2007.*, vol. 1, pp. 549-552, May 2007.
- [11] P. Kovintavewat, Signal Processing for Digital Data Storage Volume I: Basic Read-Write Channels, *National Electronics and Computer Technology Center*, 2007.
- [12] P. Kovintavewat, Signal Processing for Digital Data Storage Volume II: Receiver Design, *National Electronics and Computer Technology Center*, 2007.

ประวัติผู้เขียน

ผู้เขียน นายพรชัย เปลี่ยมทรัพย์
 วัน เดือน ปีเกิด 15 ธันวาคม พ.ศ. 2526
 สถานที่เกิด นครปฐม
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถานศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 พ.ศ. 2550

งานวิจัยที่สนใจ

ผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบและการอพติไมส์กระแสเขียนสำหรับระบบที่ข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. P. Pliamsup, P. Supnithi and K. Senanan. "Write Current Optimization From the Contour Graph," Proceedings The 3rd International Data Storage Technology Conference, pp. 34-36, July, 2010.
2. P. Pliamsup, P. Supnithi and K. Senanan. "Effect of Write Current to Performance of Perpendicular Magnetic Recording System," The Proceeding of 48th Kasetsart University Annual Conference, pp. 302-309, Feb. 2010.