

# การสั่นสะเทือนที่มีผลต่อเสียงของสปินเดิลมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

## Vibro-Acoustic of Spindle Motor in HDD

ชานนท์ วรวรรษนันท์ 4530114421 ฐาปณีย์ ภมรบุตร 4530127621

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตา จินตนาวัน (อาจารย์ที่ปรึกษา)

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาผลกระทบจากการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อการสั่นสะเทือน และเสียงรบกวน โดยวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ เพื่อศึกษาแนวทางปฏิบัติในการทดสอบหาคุณสมบัติการสั่นสะเทือน (Vibration Characteristic) ได้แก่ ความถี่ธรรมชาติของสปินเดิลมอเตอร์ ชนิด Fluid-Dynamic Bearing (FDB) อีกทั้งยังทดสอบการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์ขณะหมุน ซึ่งเป็นผลมาจาก Electromagnetic force เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ผลการทดสอบแสดงถึงการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์ขณะหมุน ปรากฏเป็น Harmonic อันดับต่างๆของความถี่รอบ โดยอันดับที่ปรากฏสอดคล้องกับจำนวน Pole และ slot ของมอเตอร์ และจากผลการทดสอบการสั่นสะเทือนทั้งสองลักษณะพบว่าผลการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์นั้นมีความถี่หนึ่งที่มีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีการสั่นสะเทือนสูง ซึ่งส่งผลให้เกิดระดับเสียงที่สูง ณ ความถี่นั้น การลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ดังกล่าวสามารถทำได้ โดยอาจจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอเตอร์เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์ให้ปรากฏ ณ ความถี่อื่น

### Abstract

This project is to study vibro-acoustic of the spinning motor for hard disk drives. Two parts of vibration testing, i.e. 1) Frequency Response Functions (FRF) and 2) Forced Response of spinning motors, were performed. For the first part, natural frequency of the motor structure is determined from the FRF. For the second part, the spinning motor responds to the electromagnetic excitation such that the response frequencies appear as harmonic number of speed where these numbers correspond to the numbers of pole and slot in the motor. In addition, the harmonic number of 36<sup>th</sup> in the forced response is close to the resonance frequency, resulting in large vibration and hence high level of sound power at that frequency. To reduce this vibration the resonance frequency could be changed by a redesign of the motor structure.

### 1. ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ฮาร์ดดิสก์ เป็นส่วนประกอบภายในคอมพิวเตอร์ที่สำคัญมากส่วนหนึ่งภายในฮาร์ดดิสก์จะมีมอเตอร์ ซึ่งทำงานโดยการหมุน สาเหตุของการสั่นสะเทือนของมอเตอร์อาจมาจากการหมุนที่ไม่สมดุล (Unbalance) Electromagnetic force หรือ รูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นความผิดพลาดจากการผลิต และการสั่นสะเทือนนี้อาจก่อให้เกิดเสียงอันไม่พึงประสงค์ตามมา สำหรับฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในอุปกรณ์เพื่อความบันเทิงเช่น เครื่องเล่น MP3 กล้องถ่ายรูป PDA และอุปกรณ์มือถือในอนาคต ความต้องการในการลดเสียงให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เป็นสิ่งจำเป็น ในโครงการนี้เราจึงเน้นศึกษาการสั่นสะเทือนที่จะมีผลต่อการแพร่ไปสู่เสียงในชิ้นส่วนหลักของฮาร์ดดิสก์ซึ่งได้แก่ สปินเดิลมอเตอร์

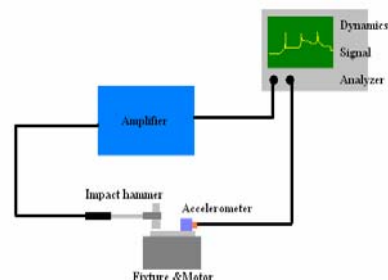
### 2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ

2.1 ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ได้แก่ Frequency Response Function และ ความถี่ธรรมชาติ

2.2 ทดสอบการตอบสนองเชิงความถี่ของสปินเดิลมอเตอร์ขณะหมุนต่อ Electromagnetic force excitation

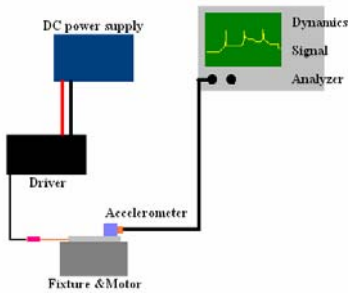
### 3. การทดสอบการสั่นสะเทือน

การทดสอบสปินเดิลมอเตอร์ในโครงการนี้เราเน้นการทดสอบการสั่นสะเทือนที่หน้าจะมีผลต่อการแพร่เสียงและการสั่นสะเทือนที่เป็นผลมาจาก Electromagnetic Force มอเตอร์ที่นำมาทดสอบเป็นชนิด Fluid Dynamic Bearings (FDB) สำหรับ HDD ขนาด 3.5" มีจำนวน Pole และ Slot 12 และ 9 ตามลำดับ การทดสอบการสั่นสะเทือนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบหา Frequency Response Function (FRF) ของมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติ โดยการใช้ Accelerometer วัดความเร่งที่ฐานของมอเตอร์ และใช้ Impact hammer เป็นตัวกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ 1



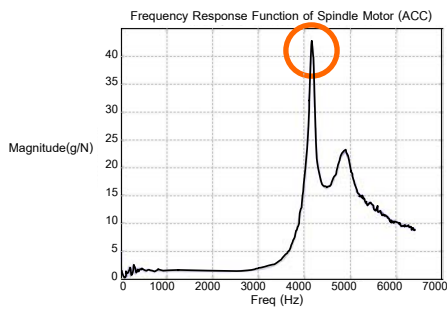
รูปที่ 1 การทดสอบหา Frequency Response Function ส่วนที่สองเป็นการทดสอบหาผลการตอบสนองเชิงความถี่ของสปินเดิล

มอเตอร์ในขณะหมุน เพื่อศึกษาลักษณะของ Electromagnetic Force ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดการสั่นสะเทือนและเสียงในมอเตอร์ชนิดนี้ โดยใช้ตัวขับ (Driver) เพื่อทำให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วคงที่เท่ากับ 7200 rpm และใช้ Accelerometer วัดความเร่งที่ฐานมอเตอร์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 จากความเข้าใจลักษณะของ Electromagnetic force และลักษณะการสั่นสะเทือนนี้จะนำไปสู่วิธีลดค่าการสั่นสะเทือนและเสียงต่อไปในอนาคต



รูปที่ 2 การทดสอบผลการตอบสนองเชิงความถี่

### 3.1 Frequency Response Function

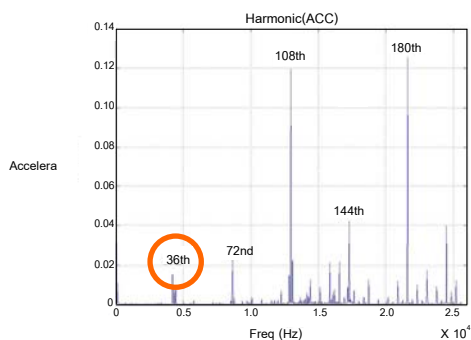


รูปที่ 3 Frequency Response Function ของสปินเดิลมอเตอร์

รูปที่ 3 แสดงผล FRF ที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งเราสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสปินเดิลมอเตอร์นี้ได้เท่ากับ 4.2 kHz ซึ่งพิจารณาได้จาก ณ ความถี่นั้นขนาดของ FRF มีค่าสูงสุด และในช่วงเกิด resonance มีการเปลี่ยนแปลงไป 180°

เนื่องจากเราวัดการสั่นสะเทือนที่ฐานของมอเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นจานกลม การสั่นสะเทือนของโหมตดังกล่าวน่าจะมิติศทางในแนวขึ้นลง หรือในแนวขวางกับแผ่นฐานนั่นเอง

### 3.2 ผลการตอบสนองเชิงความถี่ของสปินเดิลมอเตอร์ขณะหมุน



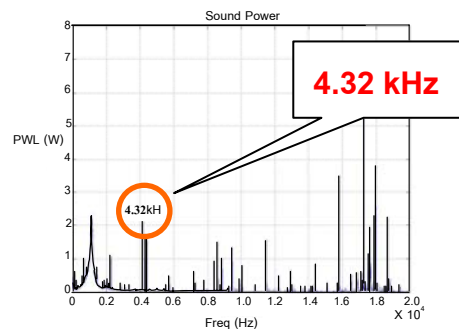
รูปที่ 4 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของสปินเดิลมอเตอร์ขณะหมุน

รูปที่ 4 แสดงผลการตอบสนองเชิงความถี่ซึ่งยอดสูงที่ปรากฏมีลักษณะเป็นอันดับ Harmonics ของความเร็วรอบ ซึ่งแสดงว่าผลของการ

ตอบสนองของมอเตอร์ต่อแรงที่กระทำมีลักษณะเป็นสัญญาณ Periodic บนโดเมนของเวลา นั้นสามารถอธิบายทางอ้อมถึงลักษณะของแรงที่กระทำต่อมอเตอร์ว่ามีลักษณะเป็นฟังก์ชัน Periodic เช่นกัน ซึ่งแรงดังกล่าวที่สำคัญได้แก่ แรงที่เกิดจากปรากฏการณ์ Electro-magnetic (EM) ซึ่งความถี่ของแรงมีความสัมพันธ์ต่อจำนวน Slot และ Pole ของมอเตอร์ และความเร็วรอบ จากรูปที่ 4 เราพบการตอบสนองเชิงความถี่ปรากฏเป็น Harmonics อันดับที่ 36, 72, 108, 144 และ 180 ซึ่งเมื่อลองพิจารณาอันดับของ Harmonics เหล่านี้แล้วเราพบว่าตัวเลขเหล่านี้เป็นอนุกรมของตัวเลข 36 ซึ่งเป็นค่าคูณร่วมน้อย (ค.ร.น.) ของ 9 และ 12 และตัวเลขดังกล่าวสอดคล้องกับจำนวน Slot และ Pole ตามลำดับ สาเหตุของการเกิด Harmonics เหล่านี้น่าจะมาจาก Unbalance electromagnetic torque ซึ่งอธิบายโดย Hartman และ Lorimer [1]

### 4. การทดสอบเสียงเบื้องต้นในมอเตอร์

ผู้จัดทำโครงการยังได้มีโอกาสทดสอบเสียงที่แพร่ออกจากมอเตอร์ ซึ่งอยู่ในลักษณะเดียวกับที่เราทำการทดสอบการสั่นสะเทือน ในห้อง Anechoic chamber ที่บริษัท NIDEC ผลของกำลังเสียงที่วัดได้จากมอเตอร์แสดงในรูปที่ 5 จากผลดังกล่าวพบว่ากำลังเสียงที่มีความถี่ประมาณ 4.32 kHz ซึ่งเป็นระดับเสียงที่สูงนั้น สอดคล้องกับอันดับ Harmonic ที่ 36 ในรูปที่ 4 และใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์ ซึ่งประมาณ 4.2 kHz ในรูปที่ 3



รูปที่ 5 กำลังเสียงที่แพร่ออกจากมอเตอร์ขณะหมุนที่ความเร็วรอบ 7200 rpm ดังนั้นหากต้องการลดระดับเสียงที่ 4.32 kHz ซึ่งเป็นสาเหตุจากการสั่นพ้องสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอเตอร์ โดยเฉพาะที่ฐานมอเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติ

### 5. สรุป

โครงการนี้ทดสอบการสั่นสะเทือนเพื่อศึกษา vibro-acoustic ของสปินเดิลมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผลการทดสอบทำให้เกิดความเข้าใจถึงสาเหตุและลักษณะของการสั่นสะเทือนที่มีผลต่อเสียง ความเข้าใจดังกล่าวสามารถนำไปสู่การแก้ไขเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เป็นผลต่อการแพร่ของเสียงในมอเตอร์ต่อไป

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Hartman and W. Lorimer, "Undriven Vibration in Brushless DC Motors", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 37, No.2, March 2001.

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท NIDEC (Thailand) ในด้านอุปกรณ์ทดสอบ