หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

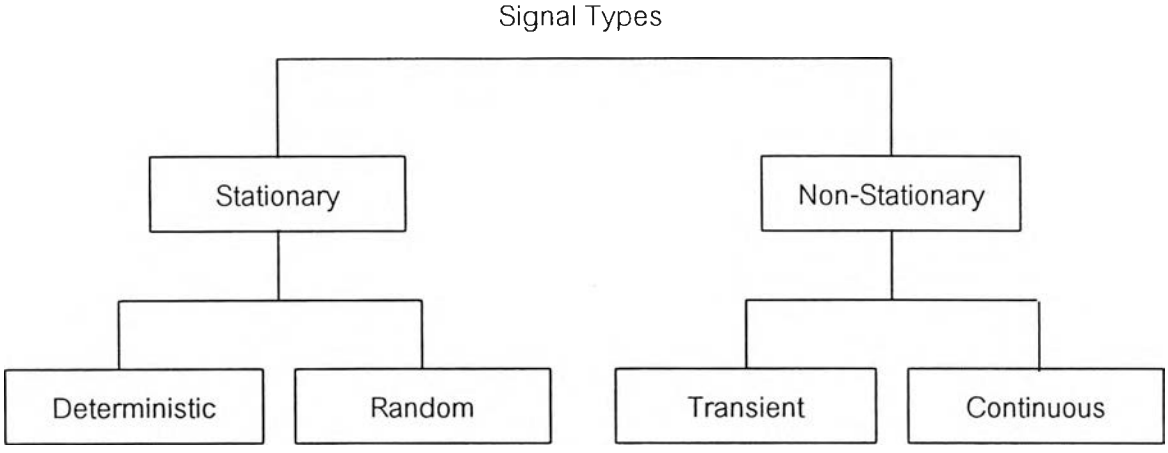
บทที่ 3
ทฤษฎีวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง

สัญญาณการสั่นสะเทือนพื้นฐานคือสัญญาณโดเมนเวลา(Time Domain Signal) ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนชนิดอื่นๆได้จากการแปลงทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณโดเมนเวลาด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การแปลงฟูเริเยร์ การแปลงเวฟเลท และ การคำนวณพารามิเตอร์ทางสถิติ วิธีการวิเคราะห์สัญญาณจำแนกตามชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือน สัญญาณแต่ละชนิดมีรูปแบบแตกต่างกันออกไป พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพชุดเฟืองจึงต่างกันด้วย การใช้วิธีการใดวิเคราะห์นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์วัดสัญญาณ ปัญหาของชุดเฟืองที่ต้องการศึกษา รวมทั้งข้อมูลที่ต้องการได้จากสัญญาณชนิดนั้นๆ เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์แต่ละชนิดมีข้อจำกัด การใช้หลายวิธีหรือสัญญาณหลายๆชนิดร่วมกันจึงช่วยให้การวิเคราะห์สภาพชุดเฟืองมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3 – 1 <u>ประเภทของสัญญาณโดยทั่วไป</u>

สัญญาณโดยทั่วไปแบ่งเป็นสองชนิด คือ สัญญาณที่มีคุณสมบัติไม่แปรผันตามเวลา (Stationary Signal) และ สัญญาณที่มีคุณสมบัติแปรผันตามเวลา(Non-Stationary Signal) ตามแผนภูมิในรูปที่ 3-1 สัญญาณที่มีคุณสมบัติไม่แปรผันตามเวลายังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบหรือมีรูปแบบที่กำหนดได้ตามระยะเวลา(Deterministic Signal) ตัวอย่างเช่นสัญญาณคลื่นไซน์(Sine Wave) ค่าสัญญาณที่เวลาต่างๆสามารถหาค่าได้แน่นอน และ สัญญาณสุ่ม(Random Signal) มีค่าไม่แน่นอนต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ส่วนสัญญาณที่มีค่าแปรผันตามเวลาก็แบ่งได้เป็น 2 ประเภทเช่นกัน คือ สัญญาณชั่วครู่(Transient Signal) คือสัญญาณที่เกิดขึ้นและหยุดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และ สัญญาณต่อเนื่อง(Continuous Signal) เช่นสัญญาณเสียงพูด สำหรับสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองแล้วในทางทฤษฎีเป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบมีรูปแบบกำหนดได้ตามระยะเวลา(Deterministic Signal) แต่ในทางปฏิบัติจะเป็นลักษณะของสัญญาณที่เป็นคาบและสัญญาณสุ่มรวมกัน เนื่องจากเฟืองแต่ละตัวหมุนด้วยความเร็วรอบที่แน่นอนคำนวณได้จึงให้การสั่นสะเทือนที่มีลักษณะซ้ำเดิมทุกๆรอบหมุนของเฟือง แต่ทุกๆช่วงที่เฟืองแต่ละคู่ขบกันในแต่ละรอบระดับการสั่นสะเทือนก็ไม่เท่ากันทุกครั้งซึ่งเป็นลักษณะของสัญญาณสุ่มเพียงแต่ไม่ได้กระจาย

ค่ามากเหมือนสัญญาณสุ่มที่เดียว ถ้าสามารถควบคุมสภาพชุดเฟืองได้ดีการกระจายค่าของระดับสั่นสะเทือนก็จะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้



รูปที่ 3-1 แผนผังแสดงชนิดของสัญญาณ

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพชุดเฟืองมีหลายแบบด้วยกันโดยมีพื้นฐานจากสัญญาณโดเมนเวลา และใช้การแปลงทางคณิตศาสตร์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณชนิดอื่นๆ

3 – 2 การวิเคราะห์สัญญาณโดเมนเวลา

สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาคือสัญญาณของแอมพลิจูดการสั่นสะเทือนซึ่งเป็น การกระจัด ความเร็ว หรือ ความเร่ง ในช่วงเวลาที่ทำการวัดสัญญาณ ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 เนื่องจากผลเฉลยทางคณิตศาสตร์ของการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองมีความซับซ้อนมาก จึงได้มีการจำลองสัญญาณขึ้นจากการทดลองวัดสัญญาณจริงเพื่อให้ได้สมการที่มีลักษณะใกล้เคียงการสั่นสะเทือนจริงของเฟืองให้มากที่สุดตามสมการที่ 3-1

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N} X_n\left[1 + am_n(t)\right]\cos\left[2\pi n f_m t + \phi_n + fm_n(t)\right] \qquad (3\text{-}1)$$

ลักษณะสัญญาณมีความถี่พาหะ(Carrier Frequency) คือ ความถี่ในการขบกันของเฟือง (GMF) ซึ่งถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณการหมุนของเฟืองแต่ละตัวและข้อบกพร่องต่างๆ สังเกตภาพสัญญาณโดเมนเวลาในรูปที่ 2- 4 จะพบลักษณะของมอดูเลชันแต่ไม่สามารถสังเกต

ความถี่ของสัญญาณที่มามอดูเลตได้ เนื่องจากสัญญาณมีลักษณะของมอดูเลชันที่หลายความถี่ สัญญาณจึงเรียงซ้อนกันทำให้วิเคราะห์หาสาเหตุความบกพร่องได้ยากเนื่องจากไม่สามารถสังเกตความถี่พื้นฐาน และ ความถี่มอดูเลชันของสัญญาณได้ การวิเคราะห์ที่ทำได้ คือ พิจารณาขนาดแอมพลิจูดโดยรวมของสัญญาณเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากเฟืองสภาพดี

<u>พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์</u>

1. ค่าแอมพลิจูดสูงสุด(Peak) เป็นค่าที่มีระดับสั่นสะเทือนสูงที่สุดในช่วงเวลาที่ทำการทดลองโดยอาจเป็นค่าทางบวกหรือทางลบก็ได้
2. ค่าแอมพลิจูดรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย(RMS) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 3-2
3. ค่าเครสท์แฟคเตอร์(Crest Factor) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 3-3 เป็นการทำให้ตัวแปรในสัญญาณเป็นตัวแปรไร้หน่วย(Normalise) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าได้ในหลายๆกรณี

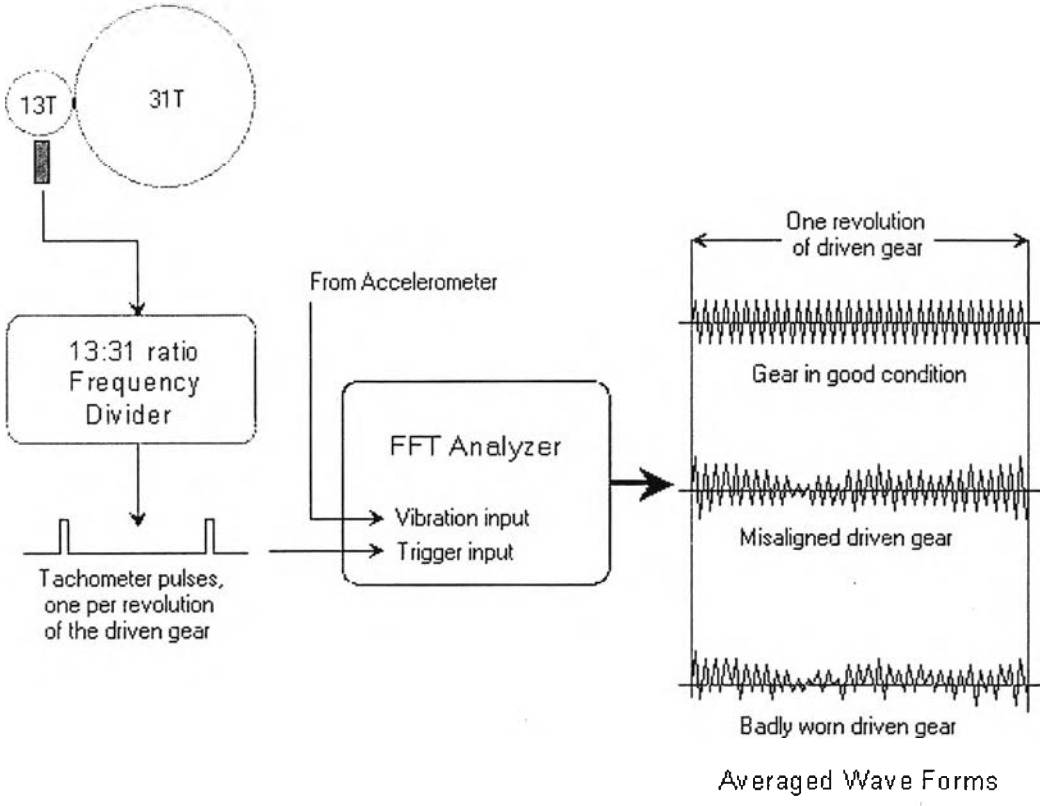
$$RMS = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + ... + x_n^2}{N}} \qquad (3\text{-}2)$$

$$\text{Crest Factor} = \frac{\text{Peak}}{\text{RMS}} \qquad (3\text{-}3)$$

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณโดเมนเวลาเป็นการบอกระดับการสั่นสะเทือนโดยรวมไม่มีความเชื่อมโยงกับความถี่ของเฟืองตัวใด ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วจึงมักใช้สัญญาณโดเมนเวลาเป็นตัวบ่งชี้ระดับการสั่นสะเทือนเบื้องต้น โดยเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณการสั่นสะเทือนของเฟืองในสภาพดีหรือเทียบกับระดับสั่นสะเทือนตามสภาวะมาตรฐาน

สัญญาณโดเมนเวลาอีกรูปแบบหนึ่ง คือ สัญญาณโดเมนเวลาเฉลี่ยแบบเข้าจังหวะ(Time Synchronus Averaging) เป็นการนำสัญญาณโดเมนเวลามาแปลงให้โดเมนเป็นองศาของเฟืองโดยมีการเทียบสัญญาณจากพัลส์ของอุปกรณ์วัดรอบ(Encoder) เพื่อให้ตำแหน่งองศาของเฟืองตรงกันทุกสัญญาณที่นำมาเฉลี่ยกัน ซึ่งวิธีการนี้ช่วยลดสัญญาณรบกวนเนื่องจากระดับสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งของเฟืองตำแหน่งเดียวกันค่าที่มากและน้อยเกินไปจะถูกหักล้างจากการเฉลี่ยหลายๆครั้ง วิธีการวัดสัญญาณแสดงในรูปที่ 3-2 วิธีนี้ช่วยให้วิเคราะห์ความสม่ำเสมอของระดับสั่นสะเทือนในหนึ่งรอบการหมุนของเฟืองได้ซึ่งสามารถตรวจสอบการเยื้องศูนย์ และ เพลาไม่ได้

แนวแกนเบื้องต้นได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 3-2 การวัดสัญญาณโดเมนเวลาเฉลี่ยแบบเข้าจังหวะ

3 – 3 <u>การวิเคราะห์สเปกตรัม</u>

การวิเคราะห์สเปกตรัมเป็นการวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือน นิยามได้หลายรูปแบบโดยแบบที่นำมาใช้วิเคราะห์เป็นแบบเพาเวอร์สเปกตรัม ซึ่งนิยามโดยให้อินทิกรัลของฟูริเยร์ หรือการแปลงแบบฟูริเยร์ $X(\omega)$ ของสัญญาณโดเมนเวลา $x(t)$ อยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน ดังนี้

$$X(\omega) = R(\omega) + jI(\omega) = A(\omega)e^{j\phi(\omega)} \qquad (3\text{-}4)$$

โดย $A(\omega)$ คือ สเปกตรัมของฟูริเยร์ (Fourier Spectrum of f(t))

$A^2(\omega)$ คือ เพาเวอร์สเปกตรัม (Power Spectrum of f(t))

$\phi(\omega)$ คือ มุมเฟส (Phase Angle of f(t))

$X(\omega)$ หาได้จากสมการ (3-6) ซึ่งเป็นสมการการแปลงฟูริเยร์ (Fourier Transform) จากสัญญาณโดเมนเวลา (x(t))

3 – 3 – 1 <u>การแปลงฟูริเยร์</u> แบ่งเป็น 4 รูปแบบได้ดังนี้

1) อนุกรม ฟูริเยร์ (Fourier Series) เป็นการแปลงสัญญาณช่วงอนันต์ให้เป็นผลบวกอนันต์ของคลื่นไซน์หรือโคไซน์ ได้สัญญาณสเปกตรัมแบบไม่ต่อเนื่อง โดยอนุกรมของฟูริเยร์มีรูปแบบทั่วไปตามสมการที่ 3-5

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos\frac{n\pi t}{T} + b_n \sin\frac{n\pi t}{T}) \qquad (3\text{-}5)$$

2) การแปลงอินทิกรัลฟูริเยร์ (Fourier Integral Transform) เป็นการแปลงสัญญาณที่มีช่วงอนันต์ให้เป็นสัญญาณสเปกตรัมต่อเนื่อง สมการการแปลงอินทิกรัลฟูริเยร์ตามสมการที่ 3-6

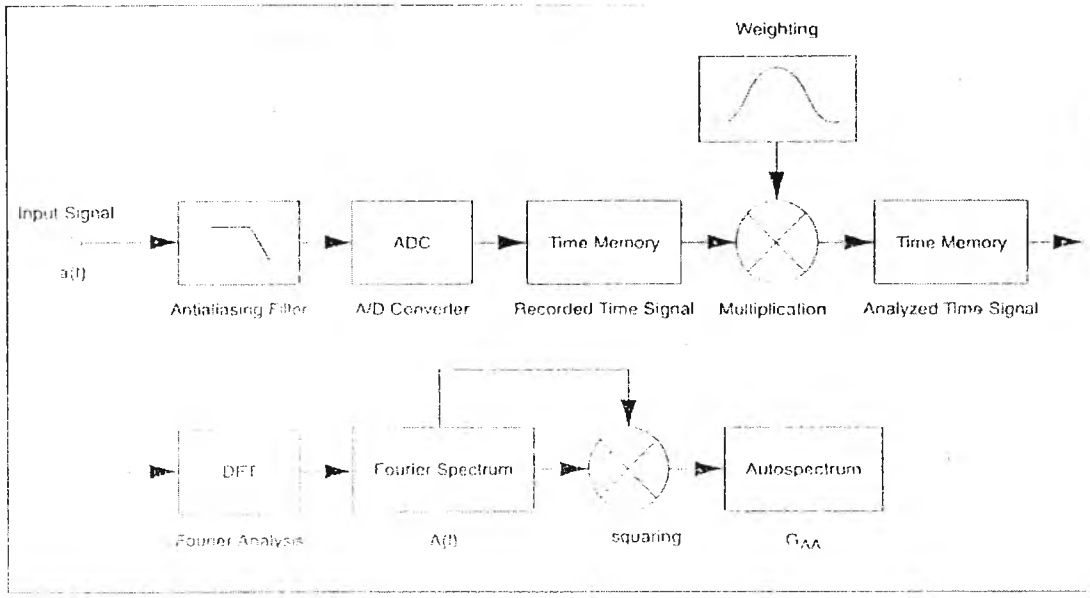
$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (3\text{-}6)$$

3) การแปลงฟูริเยร์แบบดิสครีท (Discrete Fourier Transform) เป็นการแปลงสัญญาณที่มีช่วงเวลาจำกัดให้เป็นสัญญาณสเปกตรัมแบบไม่ต่อเนื่อง ถูกออกแบบเพื่อให้คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้โดยต้องมีการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน เนื่องจากการแปลงอินทิกรัลฟูริเยร์นั้นเป็นการคำนวณทางทฤษฎีซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถเก็บสัญญาณถึงเวลาอนันต์ได้

4) การแปลงฟูริเยร์แบบเอฟเอฟที (Fast Fourier Transform) เป็นอัลกอริทึมของการแปลงแบบฟูริเยร์แบบดิสครีทให้ใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยลงมาก โดยจำนวนสัญญาณต้องเป็นเลขยกกำลังของสอง จำนวนสัญญาณจึงมักเป็นจำนวน 512 , 1024 , 2048

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณโดยทั่วไปใช้การคำนวณแบบเอฟเอฟทีซึ่งให้การคำนวณที่รวดเร็วกว่า ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณทั่วๆไปแสดงดังรูปที่ 3-3

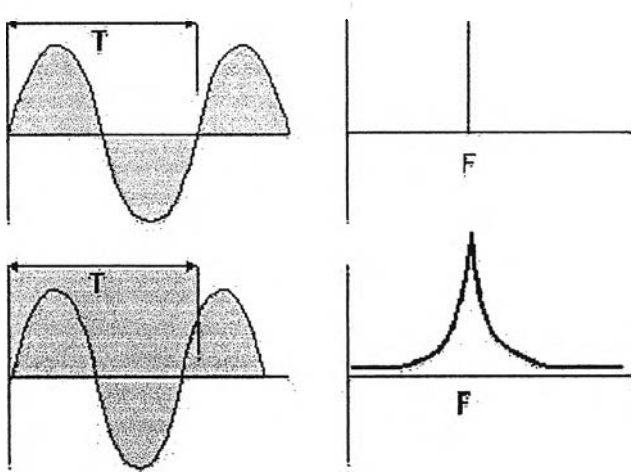
ขั้นตอนหลักในการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมเริ่มจากสัญญาณขาเข้าผ่านตัวกรองความถี่เพื่อป้องกันการผันกลับ (Aliasing) ของข้อมูลเนื่องจากความถี่สุ่มตัวอย่างน้อยเกินไป จากนั้นจึงผ่านขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วย A/D converter แล้วจึงคูณสัญญาณด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก(Window Function) แล้วจึงผ่านกระบวนการแปลงฟูริเยร์แบบเอฟเอฟที ได้สัญญาณสเปกตรัมของฟูริเยร์ เมื่อนำไปคำนวณตามสมการก็จะได้ออโตสเปกตรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์ในที่สุด



รูปที่ 3-3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัม

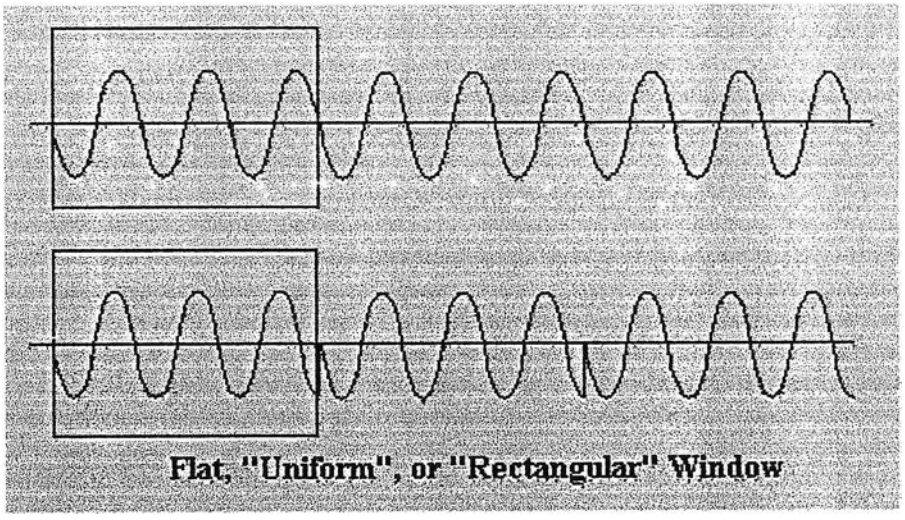
3 – 3 – 2 ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (Window Function)

จากที่ได้กล่าวแล้วว่าในทางปฏิบัติไม่สามารถวัดสัญญาณถึงเวลาอนันต์ได้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักจึงเข้ามามีบทบาทในการให้ความสำคัญกับสัญญาณในช่วงเวลาที่ทำการวัด และเพื่อให้ค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายของสัญญาณมีค่าเป็นศูนย์เพื่อหลีกเลี่ยงการรั่วของสัญญาณ (Leakage) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สัญญาณถูกตัดด้านหัวและด้านท้ายเพื่อเก็บข้อมูลทำให้ความถี่ที่ควรจะเป็นคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อย โดยเกิดการรั่วสู่แถบสเปกตรัมด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 3-4 สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยเลือกฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม ฟังก์ชันที่นิยมใช้กันมีหลายชนิดการเลือกใช้ฟังก์ชันใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดสัญญาณและผลที่ต้องการ

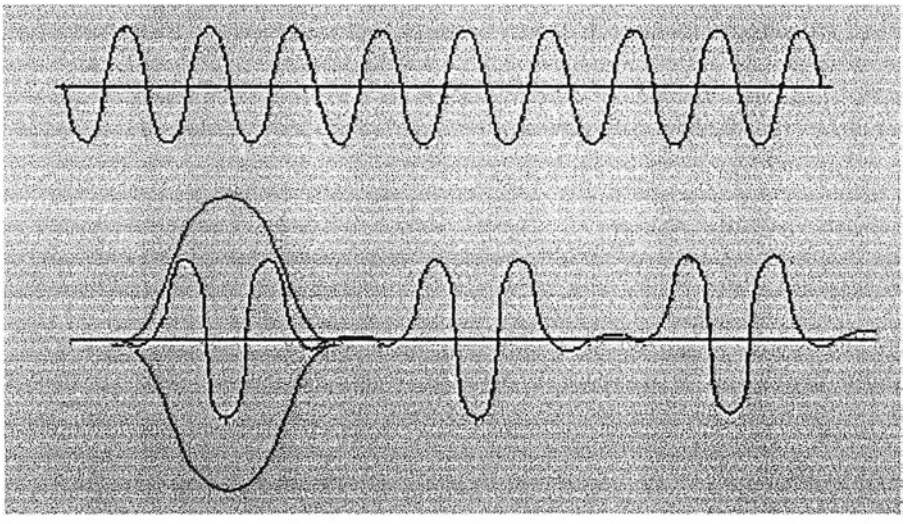


รูปที่ 3-4 การรั่ว (Leakage) ของสัญญาณเนื่องจากการถูกตัดสัญญาณตอนต้นและตอนท้าย (Trancation)

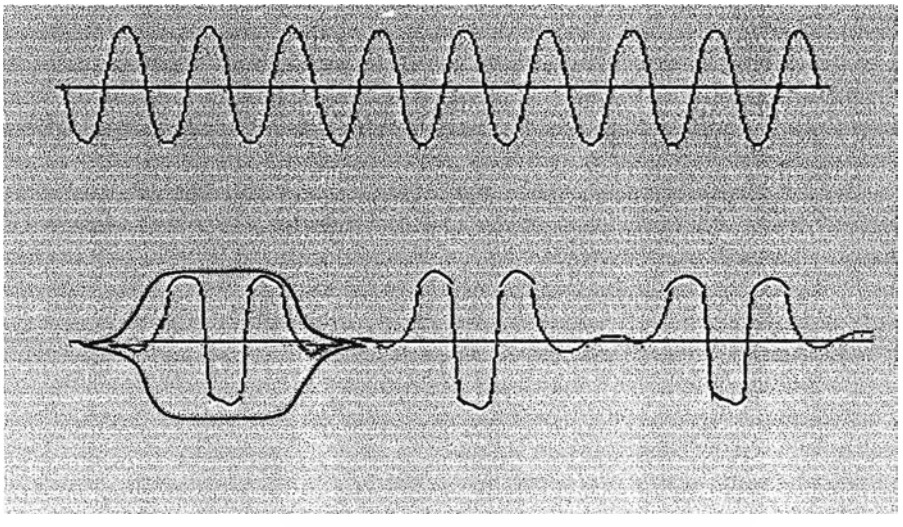
- ฟังก์ชันสี่เหลี่ยม (Rectangular Function) เหมาะสำหรับสัญญาณประเภทชั่วครู่เพื่อให้น้ำหนักกับสัญญาณเท่ากันตลอดช่วง มีรูปแบบตามรูปที่ 3-5
- ฟังก์ชันแฮนนิ่ง (Hanning Function) เหมาะสำหรับสัญญาณที่ต้องการความละเอียด (Resolution) สูง ให้น้ำหนักกับช่วงกลางๆของระยะเวลาที่วัด มีรูปแบบตามรูปที่ 3-6
- ฟังก์ชันแฟลต-ท้อป (Flat-Top Function) เหมาะสำหรับสัญญาณที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำของขนาดค่าแอมพลิจูด เช่นการวัดสัญญาณเพื่อการสอบเทียบอุปกรณ์วัด (Calibration) มีรูปแบบของหน้าต่างตามรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-5 หน้าต่าง (Window) ของฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักแบบฟังก์ชันสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3-6 หน้าต่าง (Window) ของฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักแบบฟังก์ชันแฮนนิ่ง

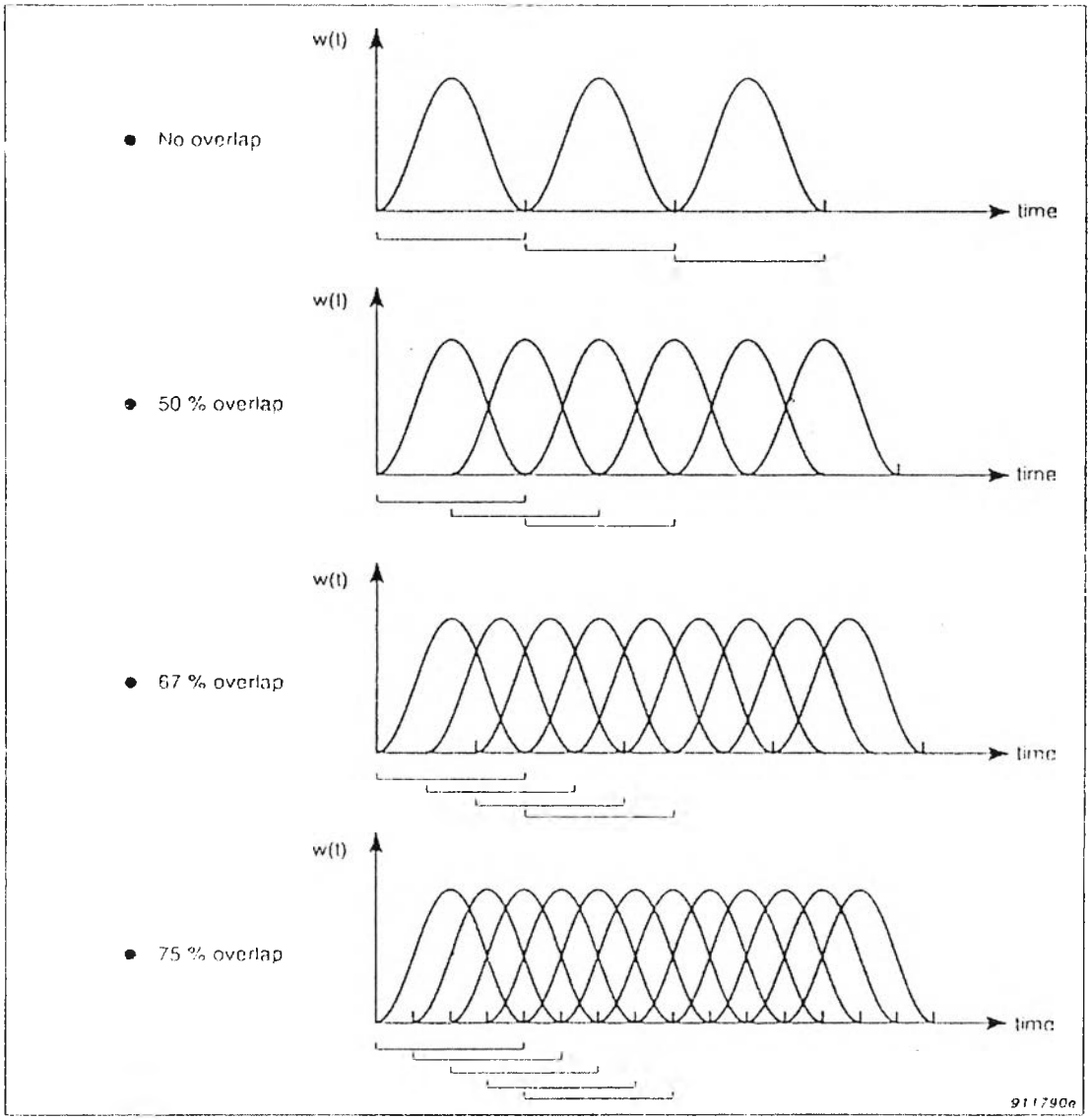


รูปที่ 3-7 หน้าต่าง (Window) ของฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักแบบฟังก์ชันแฟล็ต-ท้อป

3 – 3 – 3 โอเวอร์แล็ป (Overlap)

แม้ว่าการสั่นสะเทือนของเฟืองจะมีลักษณะเป็นคาบ แต่ก็มีลักษณะของสัญญาณสุ่มร่วมด้วย การวัดสัญญาณแต่ละครั้งจึงไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ครั้งจึงมีการใช้สัญญาณที่วัดหลายครั้งมาเฉลี่ยกัน และเนื่องจากการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักในการคูณกับสัญญาณ ฟังก์ชันบางชนิดให้ค่าสัญญาณเข้าใกล้ศูนย์ในช่วงต้นและช่วงปลายของสัญญาณที่วัดซึ่งทำให้ค่าแอมพลิจูดคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็น การเก็บสัญญาณแบบโอเวอร์แล็บจึงเข้ามามีส่วนช่วยชดเชยความคลาดเคลื่อนจากการใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำ

หนัก โดยการใช้ข้อมูลร่วมกันบางส่วนระหว่างการวัดสัญญาณครั้งปัจจุบันและการวัดสัญญาณครั้งถัดไป ซึ่งโอเวอร์แล็ปมีหลายระดับดังรูปที่ 3-8 เปอร์เซนต์โอเวอร์แล็บมากแสดงถึงการใช้ข้อมูลร่วมกันมาก ในการวัดสัญญาณสองครั้งติดกัน ยิ่งเปอร์เซนต์โอเวอร์แล็บมากยิ่งช่วยลดระยะเวลาในการวัดสัญญาณมากขึ้น



รูปที่ 3-8 การโอเวอร์แล็ปของสัญญาณที่ระดับต่างๆ

จุดประสงค์ของโอเวอร์แล็ปมีดังต่อไปนี้

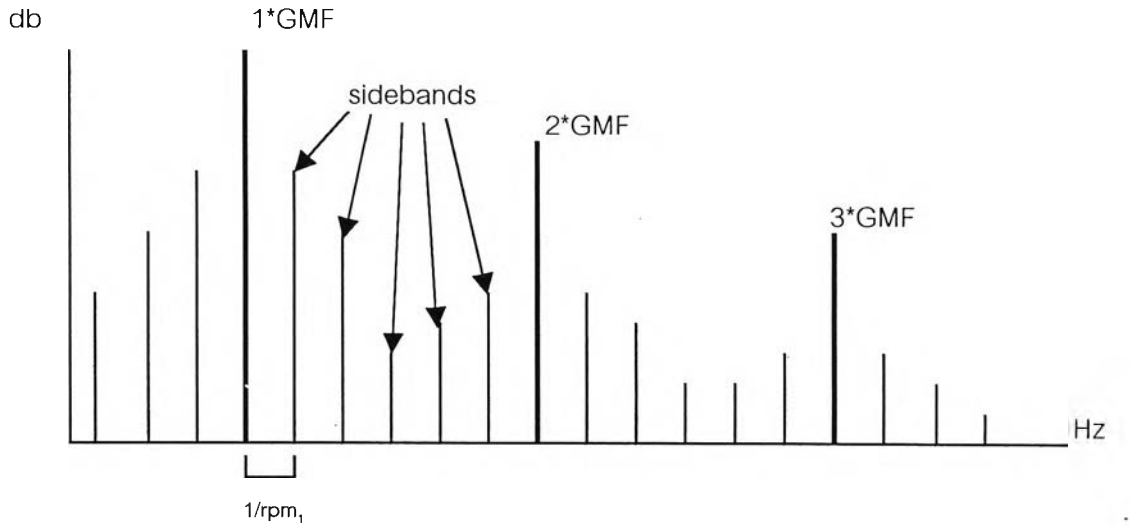
- เพื่อลดการสูญหายของข้อมูลโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเลือกใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักแบบแฮนนิ่งซึ่งจะทำให้ข้อมูลช่วงต้นและช่วงสุดท้ายหายไป
- เพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำของค่าแอมพลิจูดของสัญญาณมากขึ้น
- เพื่อลดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

สัญญาณสเปกตรัมนั้นนอกจากให้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ความถี่ที่มีการสั่นสะเทือนผิดปกติแล้ว ยังช่วยวิเคราะห์ชุดแถบความถี่ข้าง(Sideband) ซึ่งเกิดจากการมอดูเลตทางแอมพลิจูดรอบๆความถี่พาหะ(Carrier Frequency) ในที่นี้คือความถี่GMF โดยแถบความถี่ข้างอยู่ห่างออกไปเท่ากับความถี่ของฟังก์ชันมอดูเลต(Modulating Function) ในที่นี้คือความเร็วรอบของเฟือง ถ้าฟังก์ชันมอดูเลตมีความถี่ค่าเดียวก็จะให้แถบความถี่ข้างเพียงชุดเดียว โดยมีช่วงความถี่ห่างกันสม่ำเสมอเท่ากับความถี่ของฟังก์ชันมอดูเลต การมอดูเลตทางความถี่และข้อบกพร่องในส่วนอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับเฟือง ทำให้เกิดกลุ่มของแถบความถี่ข้างรอบๆความถี่ของคลื่นพาหะ (GMF) โดยแถบความถี่ข้างเหล่านี้จะอยู่ห่างออกไปเป็นระยะเท่ากับความถี่ของฟังก์ชันมอดูเลตในที่นี้คือความเร็วรอบของเฟือง

ข้อดีของการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ คือ สามารถสังเกตเห็นความถี่พื้นฐาน (GMF) ได้ง่ายขึ้นนอกจากนี้ยังสังเกตเห็นแถบความถี่ข้างซึ่งเกิดจากความผิดปกติของเฟือง รูปที่ 3-9 แสดงสัญญาณสเปกตรัมของเฟือง โดยมอดูเลตด้วยความเร็วรอบของเฟืองขับ ซึ่งสังเกตว่าเห็นยอดความถี่GMFและแถบความถี่ข้างได้ง่ายเนื่องจากสัญญาณตัวอย่างมอดูเลตที่ความถี่ค่าเดียว แต่ในสัญญาณจริงจะสังเกตเห็นแถบความถี่ข้างได้ยากขึ้นเนื่องจากเกิดจากการมอดูเลตหลายสัญญาณ ทำให้มีหลายแถบความถี่ข้างรอบๆความถี่GMF

การวิเคราะห์แถบความถี่ข้างมีประโยชน์มากในการระบุตำแหน่งของเฟืองที่เกิดความบกพร่องในชุดเฟือง (Gearbox) เนื่องจากในชุดเฟืองมีเฟืองอยู่หลายตัวหมุนด้วยความเร็วรอบต่างๆกัน การวิเคราะห์ทำได้โดยสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดแถบความถี่ข้างที่ความเร็วรอบของเฟืองนั้นๆ ทำให้พอทราบเบื้องต้นได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นที่เฟืองตัวใด

การวิเคราะห์สเปกตรัมเป็นการช่วยการวิเคราะห์บนโดเมนเวลา ทำให้วิเคราะห์หาสาเหตุได้สะดวกขึ้น เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นกับเฟืองก็จะทำให้การสั่นสะเทือนมีระดับรุนแรงขึ้น



รูปที่ 3-9 สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองบนโดเมนความถี่

แอมพลิจูดที่สูงขึ้นของสัญญาณสเปกตรัมจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงช่วงความถี่ที่มีการสั่นสะเทือนรุนแรง ซึ่งถ้าเกิดขึ้นที่ความถี่การขบกันของเฟืองน่าจะสรุปเบื้องต้นได้ว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นที่เฟือง นอกจากนี้อีกสิ่งหนึ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ความผิดปกติของเฟืองคือ แถบความถี่ข้าง ซึ่งสามารถบอกได้ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นมาจากเฟืองตัวไหน แต่ช่วงแถบความถี่ข้างก็ยังวิเคราะห์ได้ลำบากเนื่องจากมีแถบความถี่ข้างหลายชุดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัม

- ค่าแอมพลิจูดที่ความถี่ GMF
- ค่าแอมพลิจูดของชุดแถบความถี่ข้างเนื่องจากความเร็วรอบเฟืองขับ
- ค่าแอมพลิจูดของชุดแถบความถี่ข้างเนื่องจากความเร็วรอบเฟืองตาม

ค่าพารามิเตอร์ทั้งสามเป็นค่าที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับชุดเฟือง โดยในขั้นแรกเมื่อสัญญาณโดเมนเวลามีระดับการสั่นสะเทือนที่มากกว่าปกติ สัญญาณสเปกตรัมจะช่วยบอกสาเหตุของการสั่นสะเทือนนั้น ซึ่งถ้าระดับสั่นสะเทือนสูงมากกว่าปกติที่ความถี่ GMF ก็อาจมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับชุดเฟือง และถ้าพบต่อไปอีกว่าแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างเนื่องมาจากเฟืองตัวใดมีค่าสูง มีความเป็นได้ว่าอาจมีความผิดปกติเกิดขึ้นที่เฟืองตัวนั้น แต่อย่างไรก็ดีชุดแถบความถี่ข้างก็ยังมีลักษณะซับซ้อนอยู่มากจึงต้องอาศัยการวิเคราะห์เซปส์ตรัมช่วยวิเคราะห์ชุดแถบความถี่ข้างต่อไป

3 – 4 การวิเคราะห์เซปส์ตรัม (Cepstrum Analysis)

เซปส์ตรัมเป็นการวิเคราะห์ความถี่ของสเปกตรัมอีกชั้นหนึ่ง เนื่องจากชุดแถบความถี่ข้างในสเปกตรัมก็ยังวิเคราะห์ได้ยากเนื่องจากมีหลายแถบความถี่เรียงตัวกันอยู่ในสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องอาศัยเซปส์ตรัมซึ่งช่วยตรวจจับภาวะเป็นคาบในสเปกตรัม เช่น สภาวะเป็นคาบจาก ฮาร์มอนิกต่างๆ และ สภาวะเป็นคาบของแถบความถี่ข้าง(Sidebands)

เซปส์ตรัมนิยามได้หลายแบบเช่นเดียวกับสเปกตรัม เซปส์ตรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้คือเพาเวอร์เซปส์ตรัมซึ่งนิยามตามสมการ 3-4

$$C_p(\tau) = F^{-1}\{\log X_{xx}(\omega)\} \qquad (3\text{-}4)$$

$$X_{xx}(\omega) = |X(\omega(t))|^2 \qquad (3\text{-}5)$$

ซึ่งเปรียบเทียบได้กับออโตคอร์รีเลชั่นฟังก์ชัน (Autocorrelation Function) คือ

$$R(\tau) = F^{-1}\{X_{xx}(\omega)\} \qquad (3\text{-}6)$$

คำว่า "เซปส์ตรัม" (Cepstrum) มาจากการสลับที่คำว่า สเปกตรัม(Spectrum) ในภาษาอังกฤษ เหตุผลในการใช้ลักษณะการสลับตัวอักษรก็เพราะว่าเซปส์ตรัมเป็นสเปกตรัมของสเปกตรัมนั่นเอง เซปส์ตรัมใช้ประโยชน์ได้คล้ายกับออโตคอร์รีเลชันฟังก์ชัน นั่นคือเซปส์ตรัมจะแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ระยะเวลาเหลื่อมต่างกันเช่นเดียวกับออโตคอร์รีเลชัน (Autocorrelation Function) แต่ลักษณะสำคัญที่แตกต่างจากออโตคอร์รีเลชันก็คือการแปลงจากลอการิทึมของสเปกตรัมเพื่อเป็นการให้ความสำคัญต่อสัญญาณทั้งที่มีแอมพลิจูดสูงและแอมพลิจูดต่ำ

คำศัพท์เทคนิคต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเซปส์ตรัมมีดังนี้

เซปส์ตรัม (Cepstrum)	มาจากคำว่า	สเปกตรัม (Spectrum)
คิวเฟรนซี (Quefrency)	มาจากคำว่า	ความถี่ (Frequency)
ราฮ์มอนิก (Rahmonics)	มาจากคำว่า	ฮาร์มอนิก (Harmonic)
แกมนิจูด (Gamnitude)	มาจากคำว่า	แมกนิจูด (Magnitude) หรือ แอมพลิจูด (Amplitude)

I20602509

แซฟ (Saphe)	มาจากคำว่า	เฟส (Phase)
ลิฟเตอร์ (Lifter)	มาจากคำว่า	ฟิลเตอร์ (Filter)
ชอร์ต พาส ลิฟเตอร์ (Short Pass Lifter)	มาจากคำว่า	ตัวกรองความถี่สูง (Low Pass Filter)
ลอง พาส ลิฟเตอร์ (Long Pass Lifter)	มาจากคำว่า	ตัวกรองความถี่ต่ำ (High Pass Filter)

คิวเฟรนซีเป็นหน่วยของเวลา และในทางทฤษฎีคิวเฟรนซีมีความหมายเช่นเดียวกับช่วงเวลาประวิง(Delay Time) τ ของออโตคอร์รีเลชันฟังก์ชัน คำว่า " คิวเฟรนซีสูง" (High Quefrency) หมายถึง มีการสั่นขึ้นลงอย่างรวดเร็วในสเปกตรัม หรือมีระยะห่างของความถี่น้อย (Small Frequency Spacing) และคำว่า " คิวเฟรนซีต่ำ " หมายถึงมีการสั่นขึ้นลงที่ช้าหรือมีระยะห่างของความถี่มากในสเปกตรัม

ดังที่กล่าวมาแล้วการวิเคราะห์เซปส์ตรัมสำหรับชุดเฟืองนั้นมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นคาบของแถบความถี่ข้างในสัญญาณสเปกตรัม ค่าพารามิเตอร์ที่น่าสนใจในการวิเคราะห์เซปส์ตรัมคือที่คิวเฟรนซีความเร็วรอบของเฟืองขับและเฟืองตาม ซึ่งถ้าสัญญาณที่เฟืองตัวใดชัดเจนแสดงว่ามีความเป็นคาบของแถบความถี่ข้างในสเปกตรัมของเฟืองตัวนั้นมาก เฟืองตัวนั้นมีความเป็นไปได้สูงว่าเกิดความผิดปกติบางอย่างเกิดขึ้น นอกจากนี้ถ้าชุดเฟืองประกอบด้วยเฟืองมากกว่าสองตัวขึ้นไป(Multi-Stage Gearbox) การวิเคราะห์เซปส์ตรัมจะช่วยแยกสัญญาณที่ความเร็วรอบของเฟืองแต่ละตัวได้อย่างชัดเจน

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์

- แกมนิจูดที่ความเร็วรอบเฟืองขับ
- แกมนิจูดที่ความเร็วรอบเฟืองตาม