

บทที่ 3

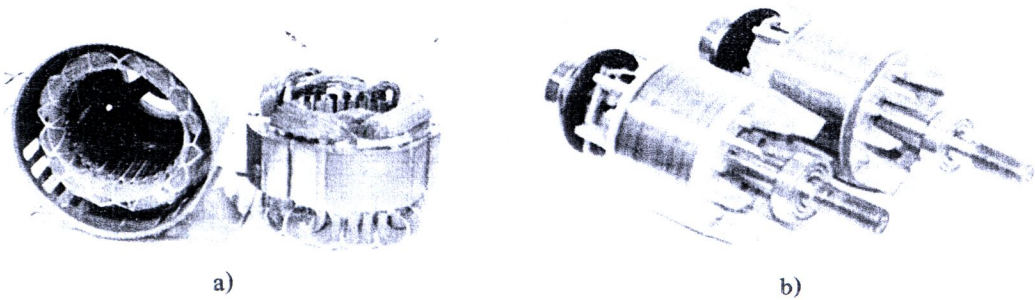
วิธีดำเนินงานวิจัยและผลการทดลอง

มอเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย และชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเมื่อตัวนำโรเตอร์แตก

มอเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ อินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส ชนิดมอเตอร์สปลิตเฟส (Split - Phase Induction Motor) จำนวน 1 ตัว ในส่วนของรายละเอียดของมอเตอร์แสดงในตาราง 3.1 โดยโครงสร้างของอินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส แสดงในรูปที่ 3.1

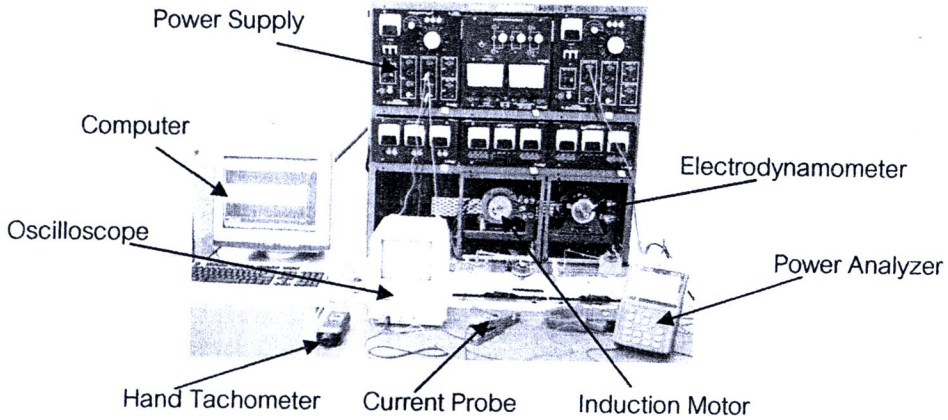
ตาราง 3.1 แสดงรายละเอียดตามเนมเพลทของอินดักชันมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนเฟส	พิกัดกำลัง (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนโพล	จำนวนตัวนำ โรเตอร์
1	186.5	220	2.4	1425	4	44



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของอินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส a) สเตเตอร์ b) โรเตอร์

ในส่วนของชุดอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อตรวจสอบความเสียหายของตัวนำโรเตอร์แตก ประกอบด้วย 8 ส่วนหลัก คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply), โพรบวัดกระแส (Current Probe), ชุดปรับ โหลดของมอเตอร์ (Electrodynamometer), เครื่องวัดความเร็วรอบ (Hand Tachometer), อินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor), ออสซิลอสโคป (Oscilloscope), คอมพิวเตอร์ (Computer), และชุดเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Analyzer), ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่3.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมอเตอร์

การวิเคราะห์ความผิดปกติเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกด้วยกระแสเดเตอร์

การทดลองการตรวจจับความเสียหายของแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักในเครื่องจักรกลไฟฟ้าอินดักชัน ใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณกระแส (Motor Current Signature Analysis, MCSA) กล่าวคือเมื่อเกิดกรณีแท่งตัวนำผิดปกติหรือแตกหักเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ กระแสเดเตอร์ที่ความถี่ตามสมการ (3.1) ซึ่งสเปกตรัมที่เกิดขึ้นนี้จะปรากฏบริเวณรอบความถี่มูลฐานจะอยู่ในเทอมขององค์ประกอบแบนด์ข้างต่ำ (Lower Sideband, LSB) และแบนด์ข้างสูง (Upper Sideband, USB) แสดงดังรูปที่3.3[3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]

$$f_{sb} = (1 \pm 2ks)f_e \quad (3.1)$$

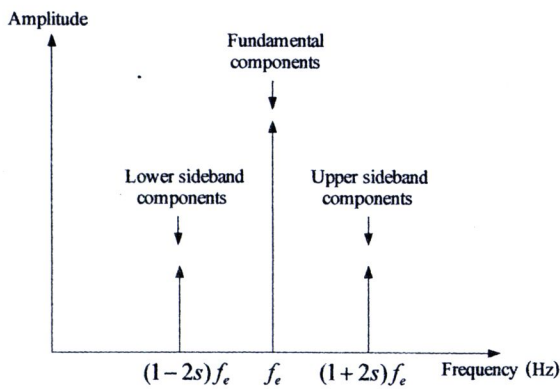
เมื่อ f_{sb} คือ ความถี่ที่เกิดจากแท่งตัวนำเสียหาย, f_e คือ ความถี่ของแหล่งจ่าย, s คือ ค่าสลิปของมอเตอร์ และ $k = 1, 2, 3, \dots$, ค่าสลิป s นิยามโดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทางกล n_m กับความเร็วซิงโครนัส n_s

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (3.2)$$

ความเร็วซิงโครนัส n_s มีสัมพันธ์กับความถี่ของแหล่งจ่าย f_e ดังนี้

$$n_s = \frac{120 \times f_e}{P} \quad (3.3)$$

เมื่อ P คือจำนวนโพลของมอเตอร์



รูปที่3.3สเปกตรัมแบนด์ข้างเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก

ในการตรวจจับสัญญาณกระแสเตเตอร์ของมอเตอร์ได้ทำการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ โดยข้อมูลของกระแสไฟฟ้าจะถูกบันทึกโดยใช้ฮาร์ดดิสก์ซึ่งมีอัตราการสุ่ม (Sampling) 2 กิโลเฮิรตซ์และได้บันทึกขนาดข้อมูลทั้งหมด 10,000 ข้อมูล ดังนั้นค่าความละเอียดของความถี่ (Frequency resolution) มีค่าเท่ากับ 0.2 เฮิรตซ์ซึ่งหาได้จาก

$$\text{ความละเอียดของความถี่} = \frac{f_s}{N} \quad (3.4)$$

โดย f_s คือ ความถี่แซมปลิง (Sampling)

N คือ จำนวนข้อมูล

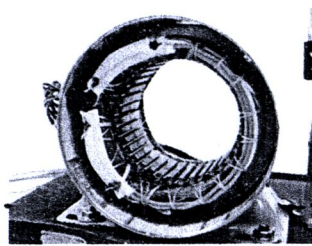
ขนาดความละเอียดของความถี่เท่ากับ 0.2 เฮิรตซ์เพียงพอที่จะค้นพบฮาร์โมนิกที่แสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวนำโรเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ จากนั้นทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) และแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) เพื่อวิเคราะห์หาสเปกตรัมความผิดปกติของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น

มอเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย และชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเมื่อเบรคเสีย

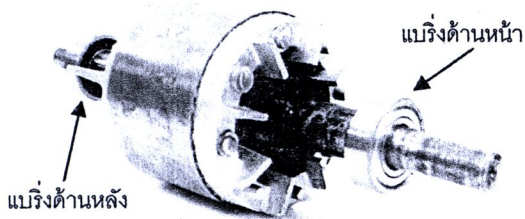
มอเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส ส่วนของรายละเอียดของมอเตอร์แสดงในตาราง 3.2 โดยโครงสร้างของอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส แสดงในรูปที่ 3.4

ตาราง 3.2 แสดงรายละเอียดตามเนมเพลทของอินดักชันมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พิกัดกำลัง	แรงดัน	กระแส	ความเร็วรอบ	จำนวนโพล	เบอร์ของเบรค	
					ด้านหน้า	ด้านหลัง
(W)	(V)	(A)	(rpm)			
400	220/380	2.00/1.15	1410	4	6202 ZZ	6201 ZZ



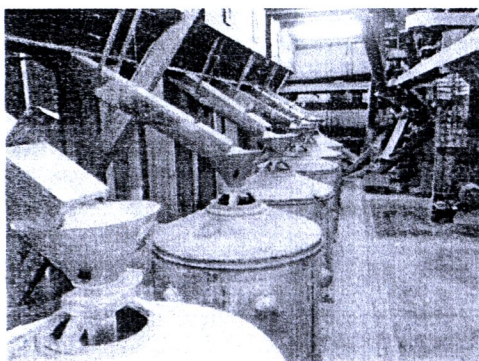
a)



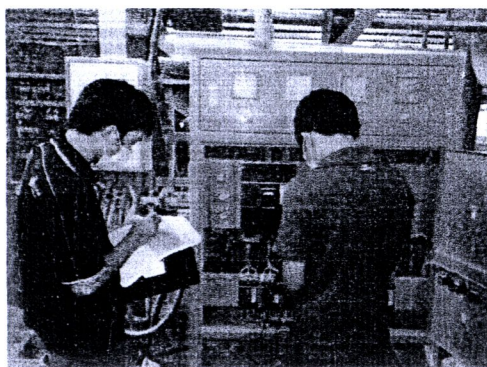
b)

รูปที่3.4 โครงสร้างของอินคักชั่นมอเตอร์ 3 เฟส a) สเตเตอร์ b) โรเตอร์

ในส่วนของการทดลองเพื่อตรวจสอบความเสียหายของแบร้ง มีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือหม้อแปลงกระแส (Current Transformer), เครื่องวัดความเร็วรอบ (Hand Tachometer), คอมพิวเตอร์ (Computer), แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter), อุปกรณ์ป้องกันเสียง (Sound Shield), อุปกรณ์รับสัญญาณกระแส (NI-9215), ไมโครโฟน (Microphone) การเก็บข้อมูลได้ดำเนินการกับ เครื่องสิจ้าว ดังแสดงในรูปที่3.5



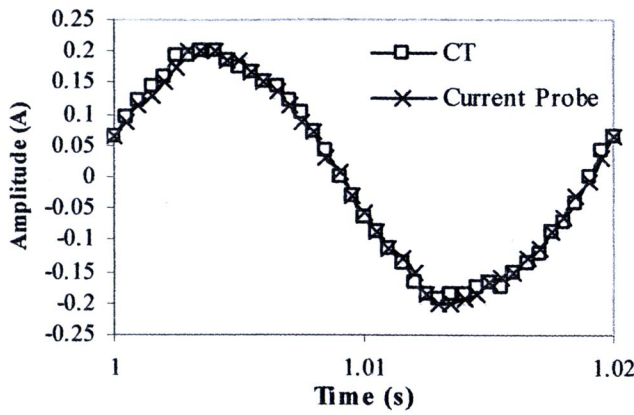
a)



b)

รูปที่3.5การเก็บข้อมูลในกระบวนการสิจ้าว a) เครื่องสิจ้าวที่เลือกทดสอบ b) ขณะทำการเก็บข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณกระแสจากหม้อแปลงกระแส ทำได้โดยการวัดเปรียบเทียบกับโพรบวัดกระแส ดังรูปที่3.6แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณกระแสสเตเตอร์เฟส A จากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด เมื่อมอเตอร์ทำงานสภาวะไร้อโหลด พบว่า สัญญาณกระแสสเตเตอร์จากหม้อแปลงกระแสให้ค่าใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสสเตเตอร์จากโพรบวัดกระแส ดังนั้นสัญญาณกระแสสเตเตอร์จากหม้อแปลงกระแสจึงมีความน่าเชื่อถือในการใช้ตรวจสอบความผิดปกติ



รูปที่3.6 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสจากเครื่องมือวัด

การวิเคราะห์ความผิดปกติเมื่อแบร้งเสียหายด้วยกระแสเตอร์

การทดลองการตรวจจับความเสียหายของแบร้งในมอเตอร์อินดักชันที่ใช้ในกระบวนการสีข้าว ใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณกระแส (Motor Current Signature Analysis, MCSA) กล่าวคือเมื่อเกิดกรณีแบร้งเสียหาย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเตอร์ที่ความถี่ตามสมการ (3.5) ซึ่งสเปคตรัมที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของแบร้ง และความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ จากความถี่ที่ปรากฏในกระแสเตอร์สามารถใช้ตรวจสอบความเสียหายของแบร้ง และสามารถบ่งบอกชนิดของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งช่วยในการตัดสินใจในการซ่อมบำรุงรักษาที่ถูกต้อง [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]

$$f_{bf} = |f_e \pm kf_v| \quad (3.5)$$

เมื่อ f_{bf} คือ ความถี่ที่เกิดจากความเสียหายของแบร้ง, f_e คือ ความถี่ของแหล่งจ่าย, f_v คือ ความถี่ของชนิดความเสียหาย ตามสมการ (3.6)-(3.7) และ $k = 1, 2, 3, \dots$

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากรณีความเสียหายของแบร้ง 3 กรณี คือความเสียหายเนื่องจากronglindan นอก (Outer Raceway) และความเสียหายเนื่องจากโครงขี้ดลูกปืน (Cage) และความเสียหายเนื่องจากกัดกร่อน (Corrosion) สามารถหาความถี่ของชนิดความเสียหายดังนี้

ความเสียหายเนื่องจากronglindanนอก (Outer Raceway):

$$f_o = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b}{D_c} \cos \beta \right) \quad (3.6)$$

ความเสียหายเนื่องจากโครงยึดลูกปืน (Cage):

$$f_c = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b}{D_c} \cos \beta \right) \tag{3.7}$$

เมื่อ f_r คือ ความเร็วรอบของโรเตอร์ (รอบ/วินาที), N_b คือ จำนวนลูกปืน (Ball) ของ แบริ่งที่ใช้ในการทดลอง, D_b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปืน (Ball Diameter: mm) D_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิชของลูกปืน (Bearing Pitch Diameter: mm) และ β คือมุมสัมผัสของลูกปืน (Contact Angle: Degrees) โครงสร้างของแบริ่งที่นำมาใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการแสดงดังรูปที่ 3.7 และขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบริ่งทั้ง 2 ชนิด แสดงดังตาราง 3.3



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของแบริ่งที่ใช้ในการทดลอง a) 6202 ZZ b) 6201 ZZ

ตาราง 3.3 แสดงขนาดพารามิเตอร์ของแบริ่งทั้ง 2 ชนิด

Parameter	Value	
	6202 ZZ	6201 ZZ
Number of balls (N_b)	8	7
Ball diameter (D_b) (mm)	6	5.6
Bearing pitch diameter (D_c) (mm)	25.3	22.3
Contact angle (degrees)	0	0

ตาราง 3.4 แสดงความถี่ที่เกิดขึ้นจากกระแสเตเตอร์เมื่อแบริ่งเสียหาย 2 กรณี คือความเสียหายเนื่องจากร่องลื่นด้านนอก (Outer Raceway) และความเสียหายเนื่องจากโครงยึดลูกปืน (Cage) โดยสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น 2 กรณีจะปรากฏความถี่ขึ้นที่กระแสเตเตอร์แตกต่างกัน และความถี่ที่ปรากฏขึ้นที่กระแสเตเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ และขนาดของแบริ่งของอินดักชันมอเตอร์ด้วย

ตาราง3.4แสดงค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากกระแสเตเตอร์เมื่อแบร์งเสียหายสภาพต่างๆ

Defective Condition	Effect on stator current (Hz)			
	6202 ZZ		6201 ZZ	
	k=1	k=2	k=1	k=2
Outer race	$ 50 \pm 3.05 f_r $	$ 50 \pm 6.1 f_r $	$ 50 \pm 2.62 f_r $	$ 50 \pm 5.24 f_r $
Cage	$ 50 \pm 0.38 f_r $	$ 50 \pm 0.76 f_r $	$ 50 \pm 0.37 f_r $	$ 50 \pm 0.74 f_r $

ในการตรวจจับสัญญาณกระแสเตเตอร์ของมอเตอร์ได้ทำการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ โดยข้อมูลของกระแสไฟฟ้าจะถูกบันทึกโดย NI-9215 ซึ่งมีอัตราการสุ่ม (Sampling) 10 กิโลเฮิร์ทซ์ และได้บันทึกขนาดข้อมูลทั้งหมด 100,000 ข้อมูล ดังนั้นค่าความละเอียดของความถี่ (Frequency - resolution) มีค่าเท่ากับ 1 เฮิร์ทซ์ซึ่งหาได้จาก

$$\text{ความละเอียดของความถี่} = \frac{f_s}{N}$$

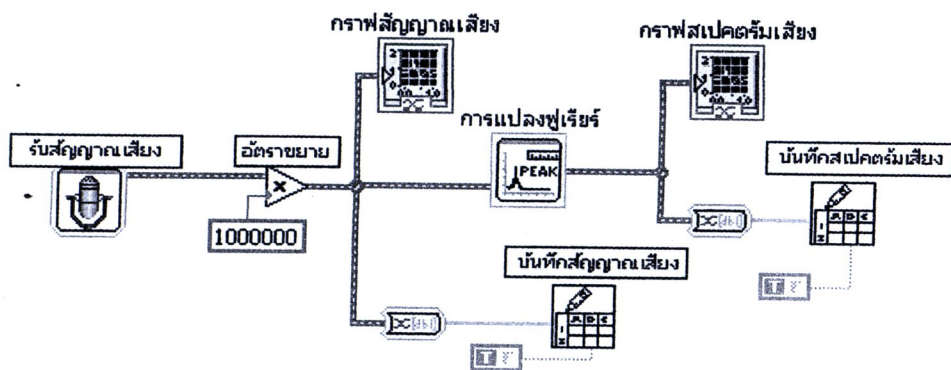
(3.8)

โดย f_s คือ ความถี่แซมปลิง (Sampling)
 N คือ จำนวนข้อมูล

ขนาดความละเอียดของความถี่เท่ากับ 1 เฮิร์ทซ์เพียงพอที่จะค้นพบฮาร์โมนิกที่แสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแบร์ง จากนั้นทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (MatLab) และแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) เพื่อวิเคราะห์หาสเปกตรัมความผิดปกติของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น

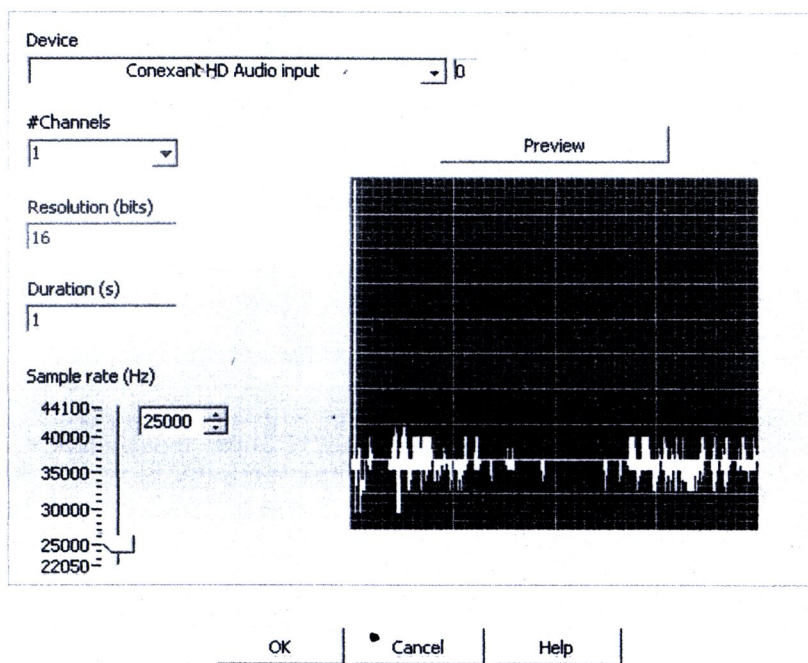
การวิเคราะห์ความผิดปกติเมื่อแบร์งเสียหายด้วยสัญญาณเสียง

เมื่ออินดักชั่นมอเตอร์เกิดความเสียหายบริเวณแบร์งจะส่งผลกระทบออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น ฮาร์โมนิกกระแสเตเตอร์, การสั่นสะเทือน, และสัญญาณเสียง โดยสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นจะปรากฏออกมา เนื่องจากแบร์งได้รับการเสียดสีตลอดเวลาขณะทำงาน เมื่อเกิดความเสียหายกรณีต่างๆ กับแบร์งของอินดักชั่นมอเตอร์ส่งผลให้ลูกปืน (Ball) เคลื่อนที่ผิดปกติ และส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบเสียงที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาวินิจฉัยความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

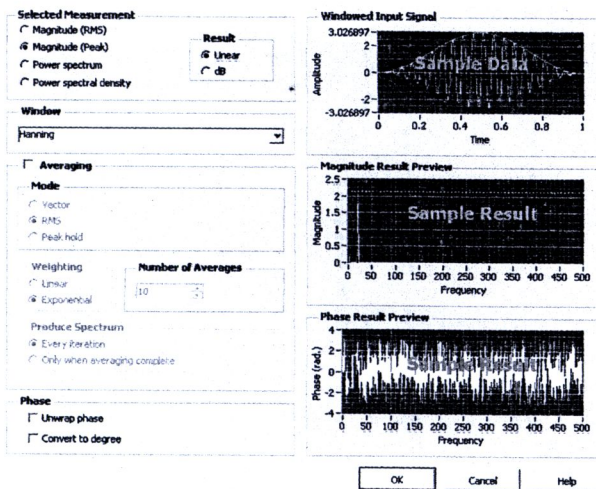


รูปที่ 3.8 แสดงการเขียนโปรแกรมแลปวิวสำหรับรับสัญญาณเสียง

รูปที่ 3.8 แสดงการเขียนโปรแกรมแลปวิว (LabView) สำหรับรับสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเสียหายของเบร้ง กำหนดอัตราสุ่ม 25 กิโลฮิรตซ์ผ่านอัตราขยาย 1 ล้านเท่า เนื่องจากขนาดของสัญญาณเสียงมีค่าต่ำ และแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในโดเมนความถี่ใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ซึ่งค่าความละเอียดของความถี่ (Frequency resolution) มีค่าเท่ากับ 1 เฮิรตซ์ รูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10 แสดงการปรับค่าของอุปกรณ์รับสัญญาณเสียง และการปรับค่าการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 แสดงการปรับค่าของอุปกรณ์รับสัญญาณเสียง

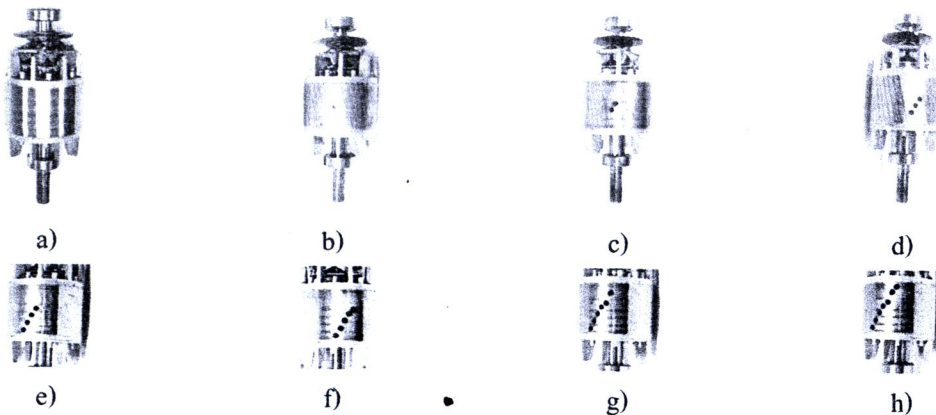


รูปที่3.10แสดงการปรับค่าการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

ผลการทดลอง

1.ผลการทดลองเมื่อตัวนำโรเตอร์แตก

ผลการทดลองเมื่อตัวนำโรเตอร์แตก พิจารณาอินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส เนื่องจากในการทดลองมีความสะดวกในการตรวจวัดกระแสสแตเตอร์โดยสามารถวัดค่ากระแส สแตเตอร์เพียง 1 เฟสเพื่อแสดงผลการทดลองที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปหลักการทำงานของอินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส และอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟสมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นกับอินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟสด้วย รูปที่3.11 แสดงโรเตอร์ของอินดักชัน 1 เฟสที่ใช้ในการทดลอง



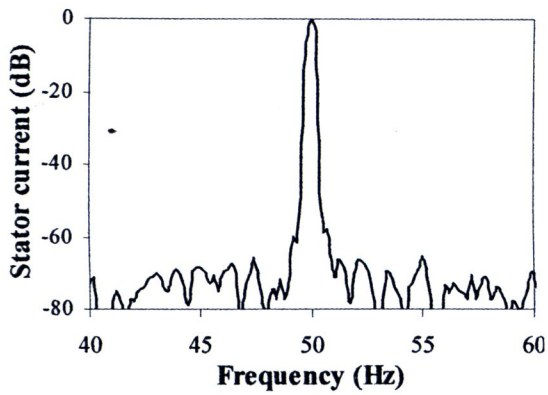
รูปที่3.11 โรเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ 1 เฟส ที่ใช้ในการทดลอง a) โรเตอร์ปกติ

b) 1 ตัวนำแตก c) 2 ตัวนำแตก d) 3 ตัวนำแตก e) 4 ตัวนำแตก f) 5 ตัวนำแตก

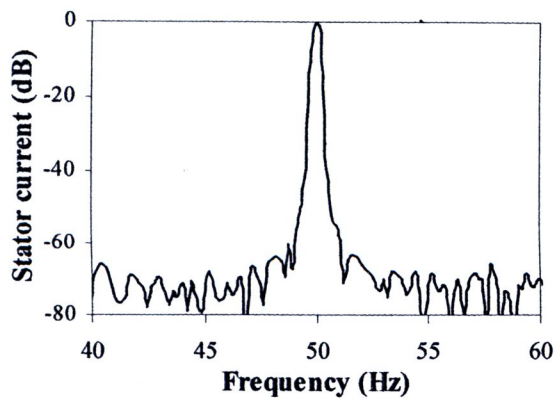
g) 6 ตัวนำแตก h) 7 ตัวนำแตก

ผลการทดลองสเปกตรัมกระแสสแตเตอร์

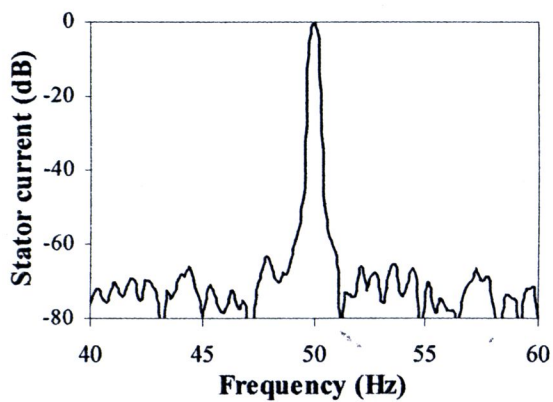
โรเตอร์ปกติ



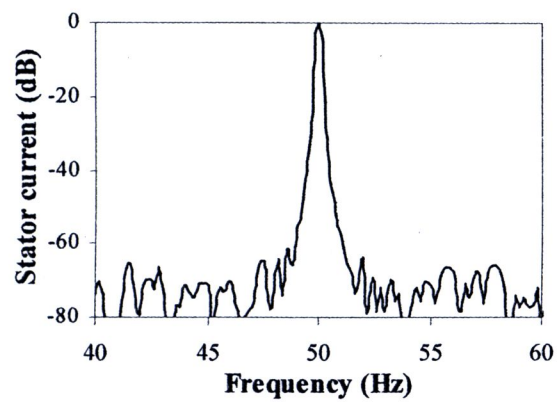
สภาวะไร้โหลด



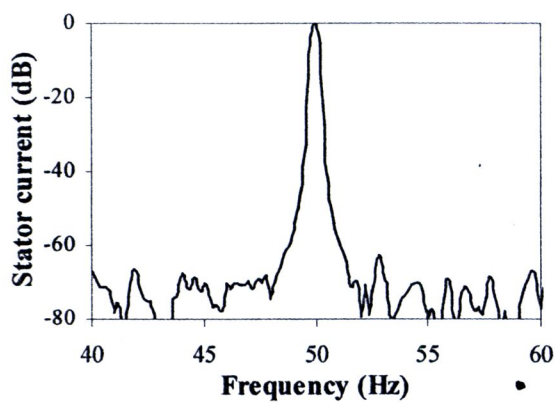
โหลด 10%



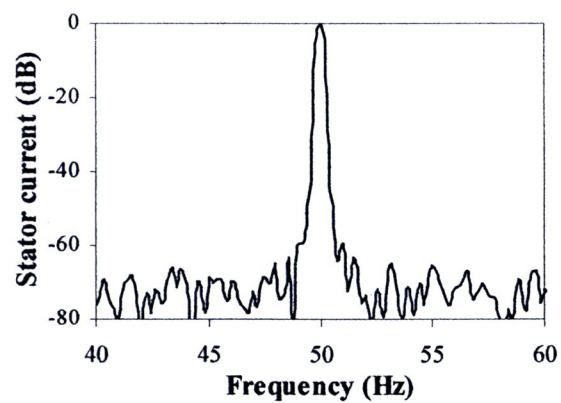
โหลด 20%



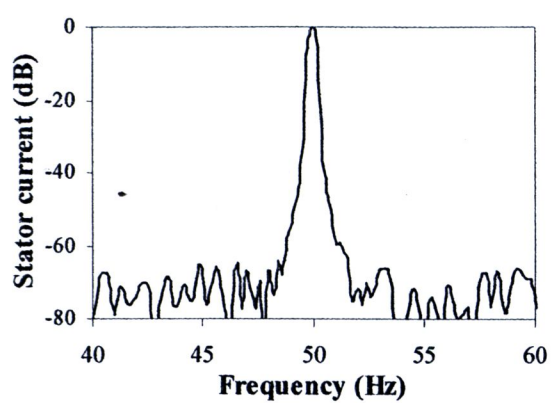
โหลด 30%



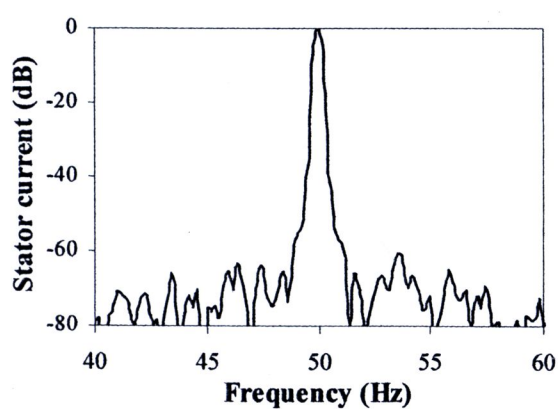
โหลด 40%



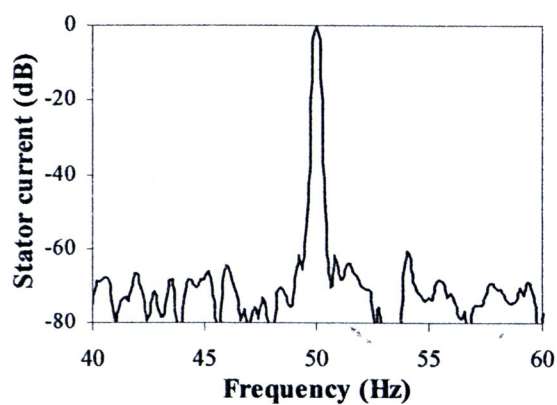
โหลด 50%



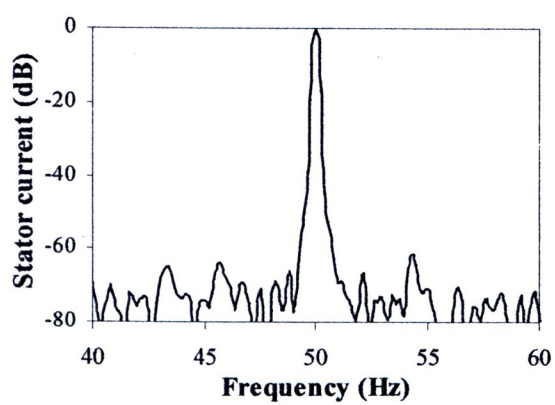
โหลด 60%



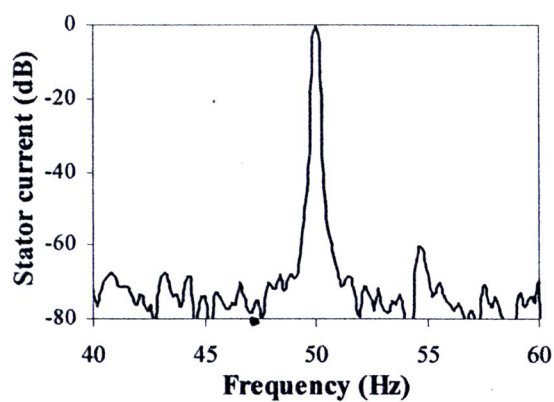
โหลด 70%



โหลด 80%



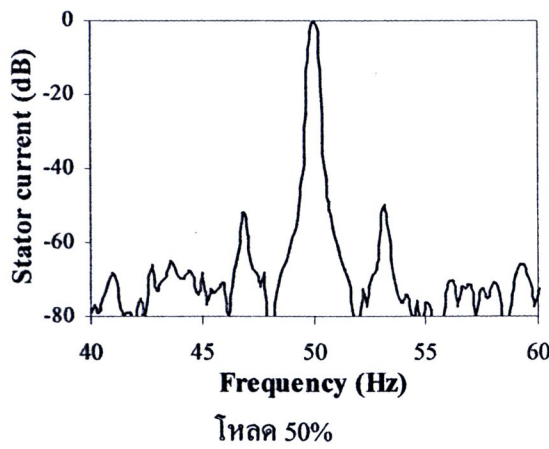
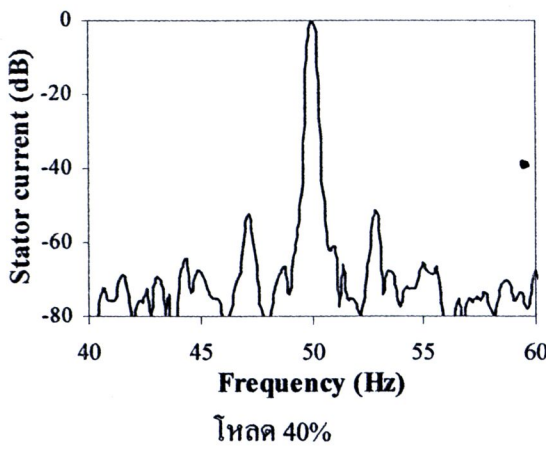
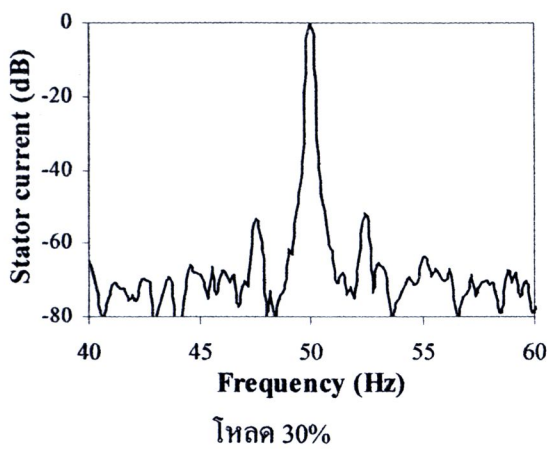
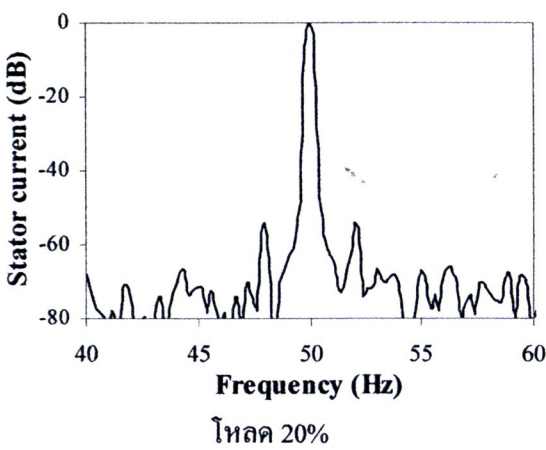
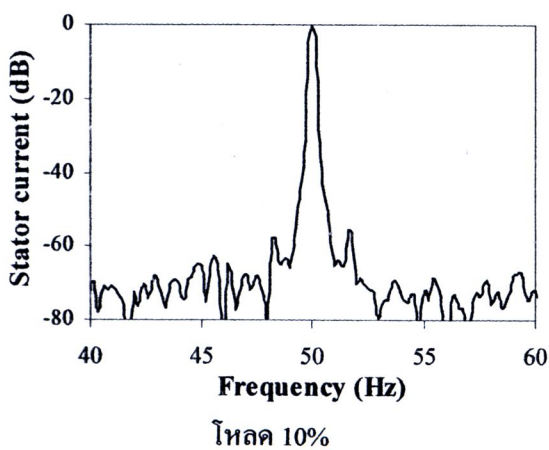
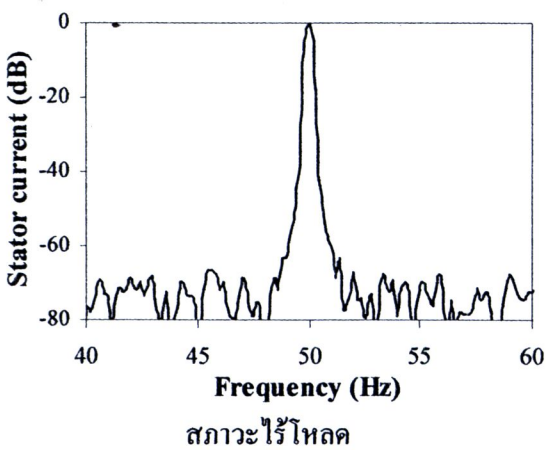
โหลด 90%

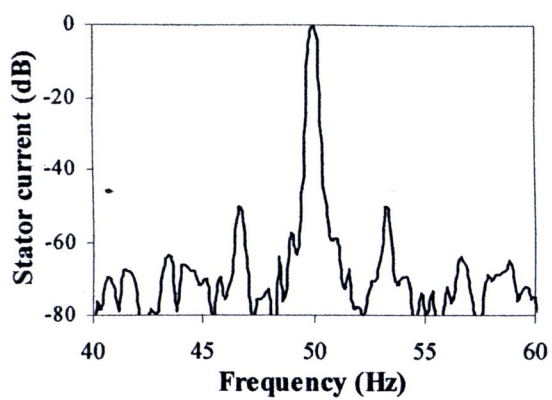


โหลด 100%

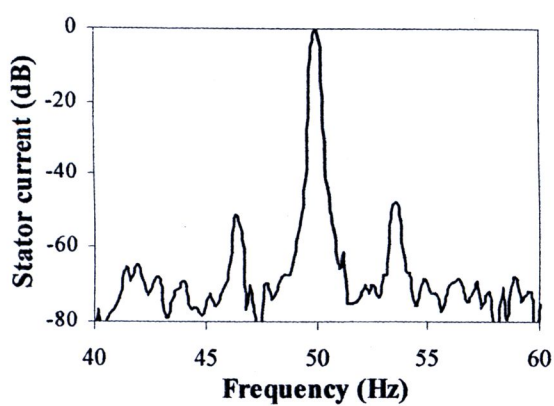
รูปที่ 3.12สเปกตรัมกระแสสแตเตอร์สภาวะโรเตอร์ปกติ พิกัดโหลดต่างๆ

1 ตัวนำโรเตอร์แตก

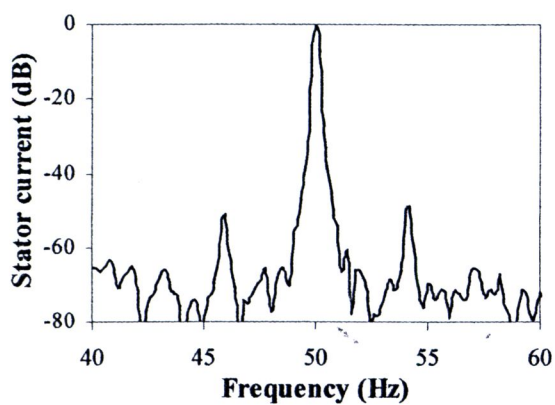




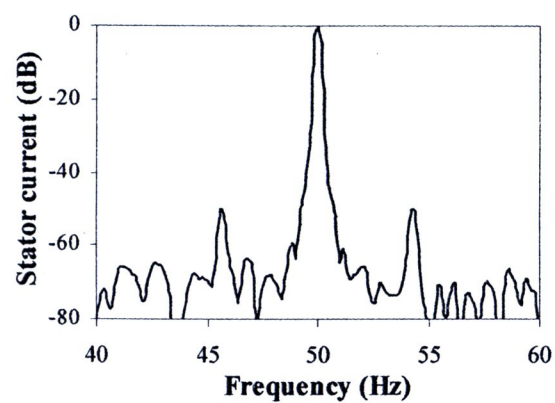
โหลด 60%



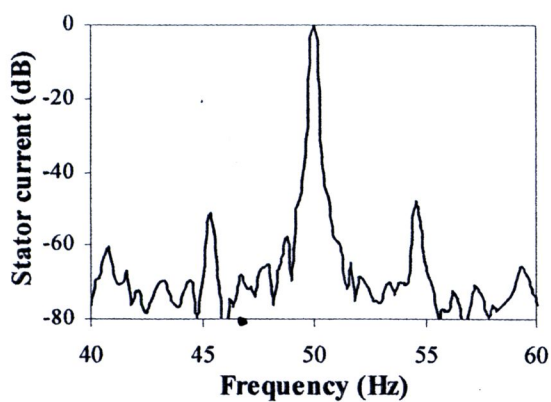
โหลด 70%



โหลด 80%



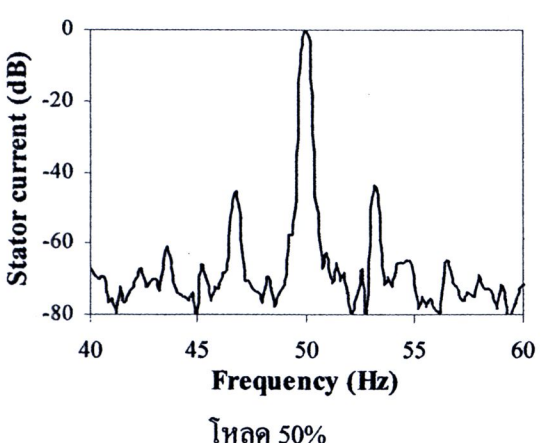
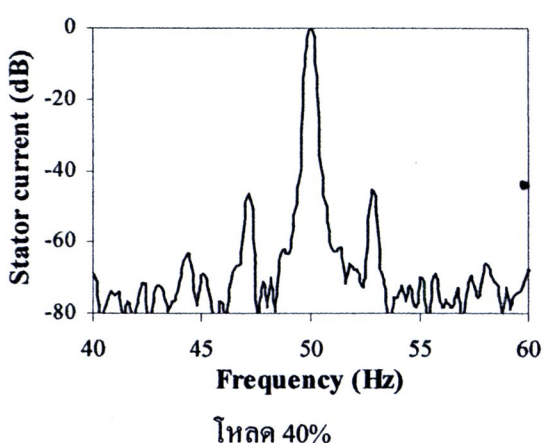
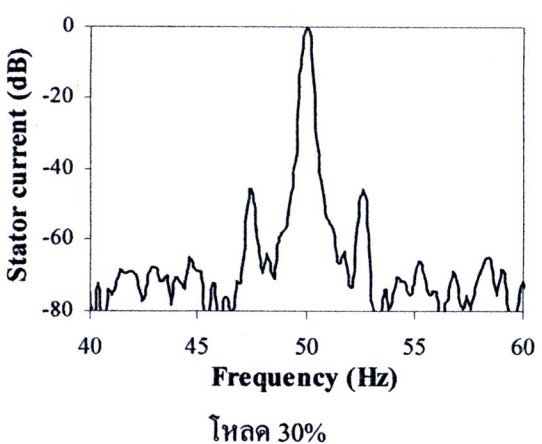
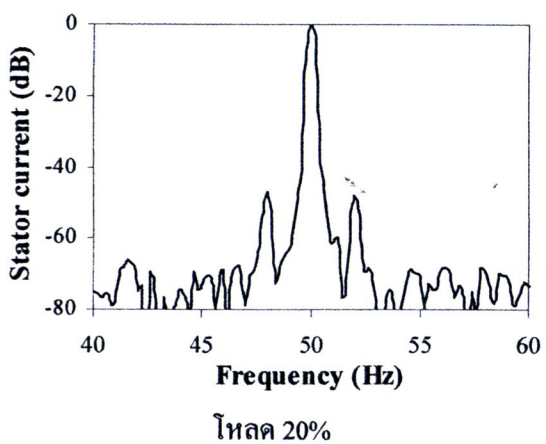
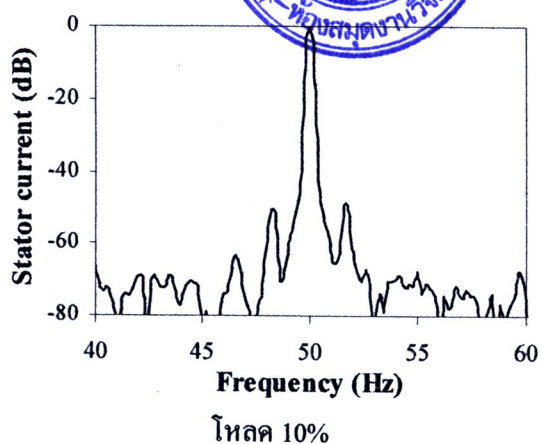
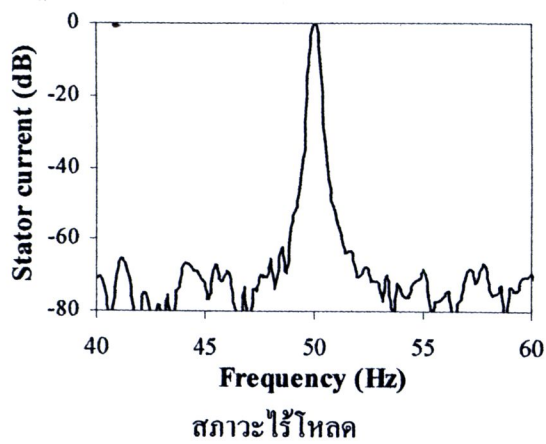
โหลด 90%

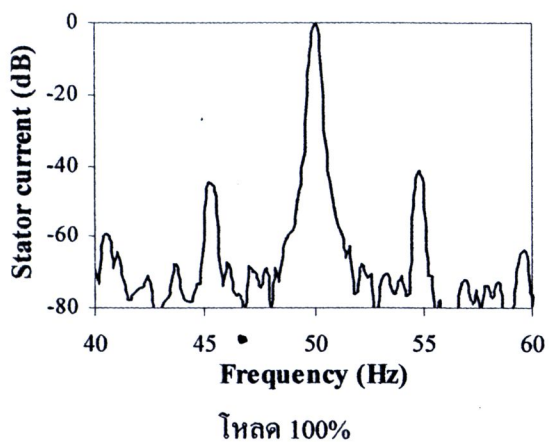
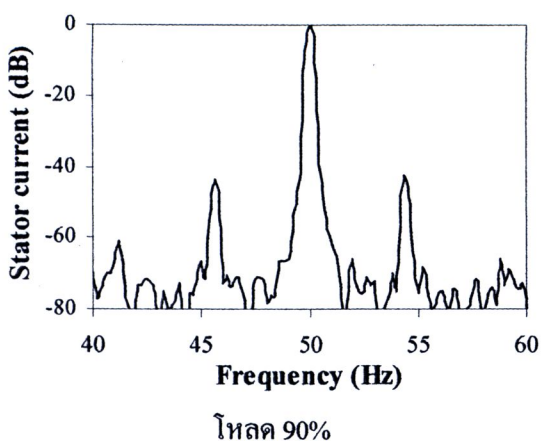
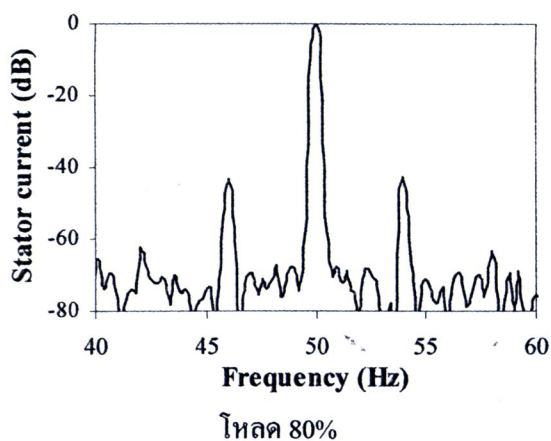
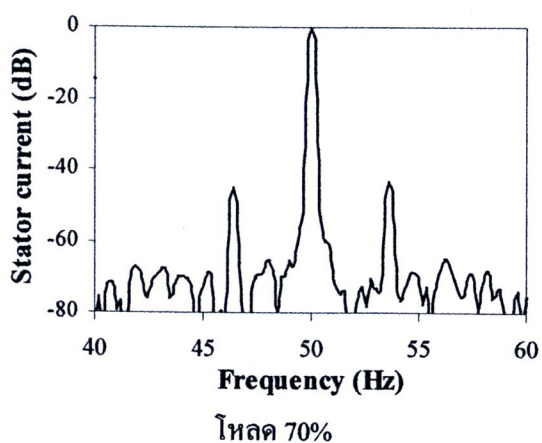
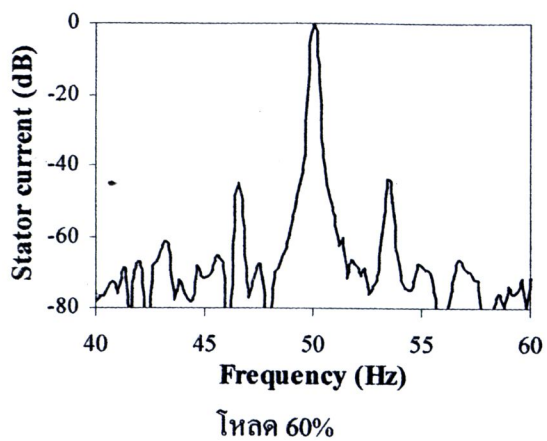


โหลด 100%

รูปที่ 3.13สเปกตรัมกระแสสแตเตอร์สภาวะ 1 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

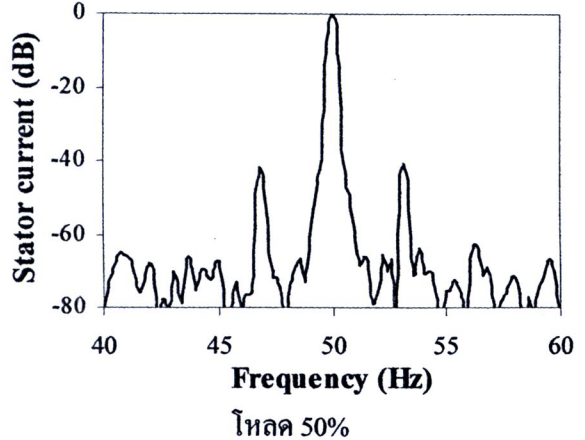
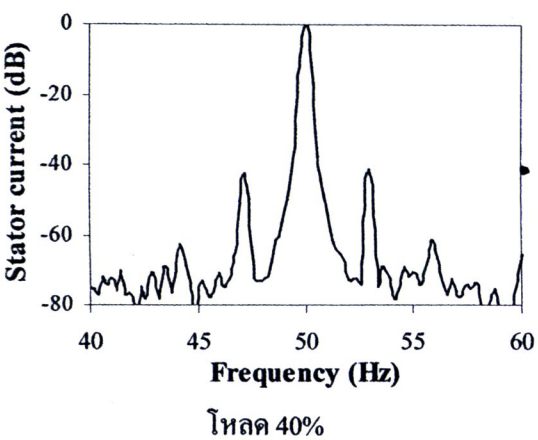
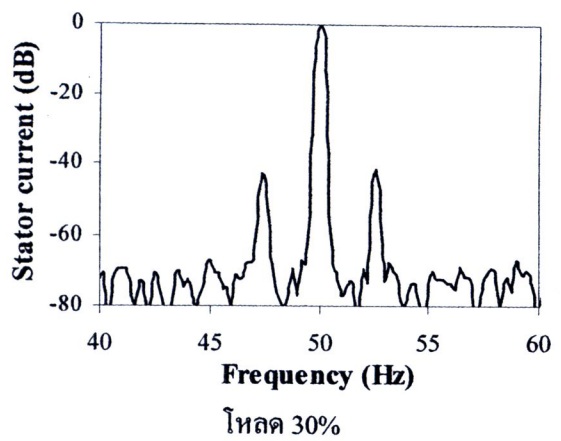
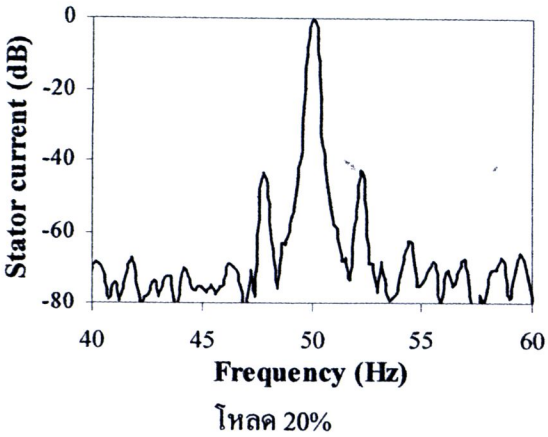
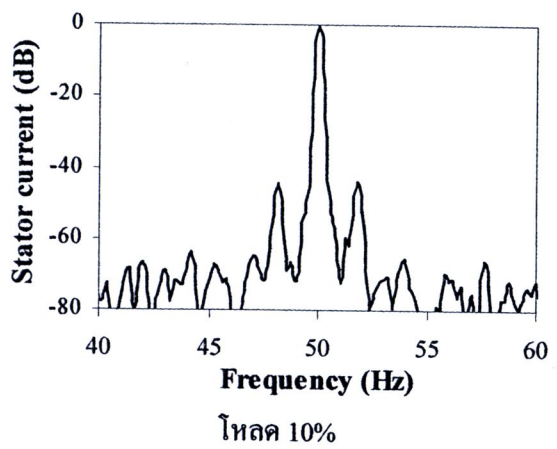
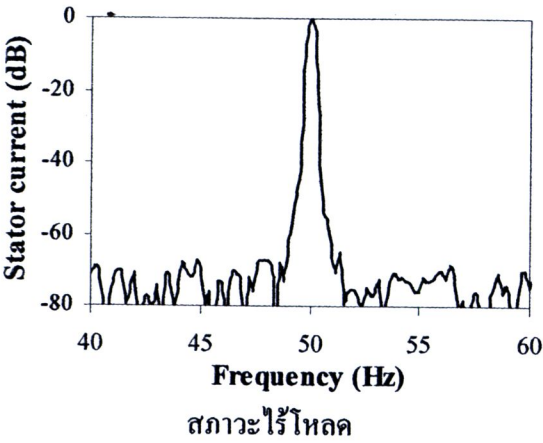
2 ตัวนำโรเตอร์แตก

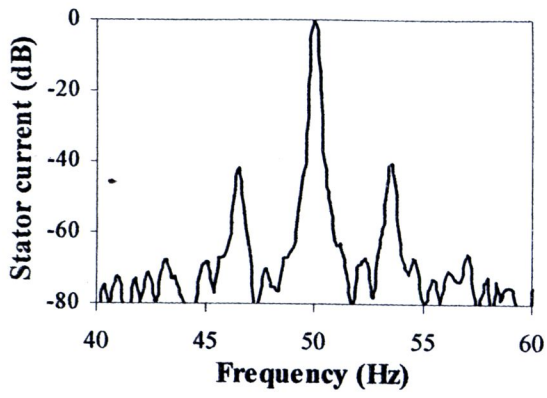




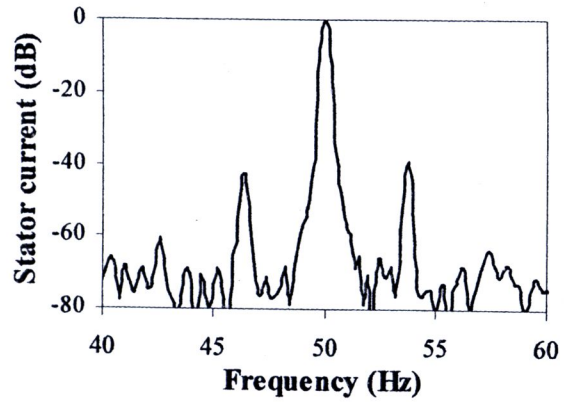
รูปที่ 3.14สเปกตรัมกระแสสแตตเตอร์สภาวะ 2 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

3 ตัวนำโรเตอร์แตก

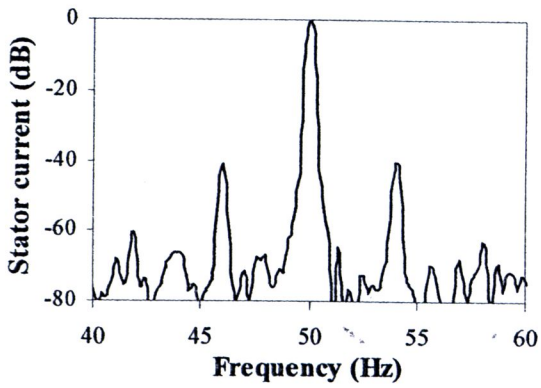




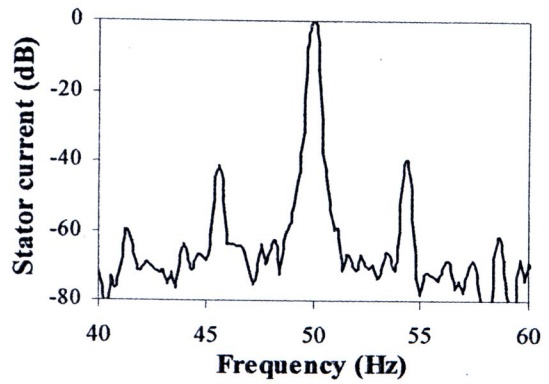
โหลด 60%



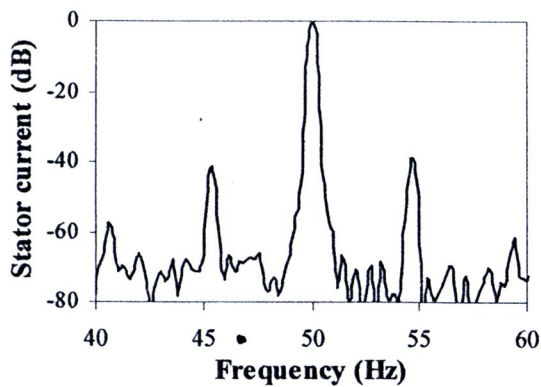
โหลด 70%



โหลด 80%



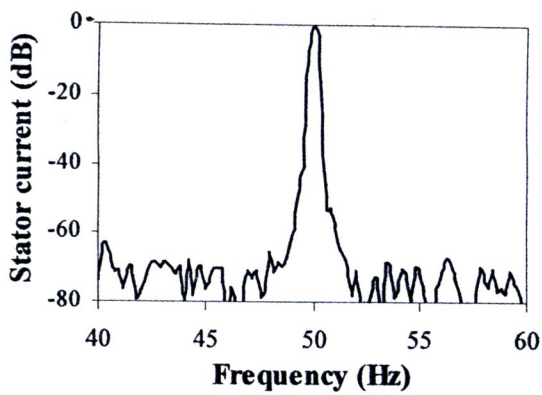
โหลด 90%



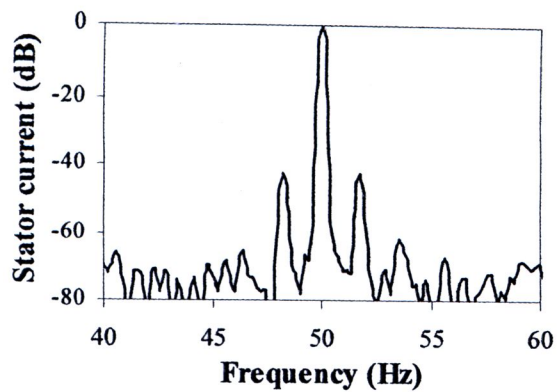
โหลด 100%

รูปที่ 3.15สเปกตรัมกระแสสแตเตอร์สภาวะ 3 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

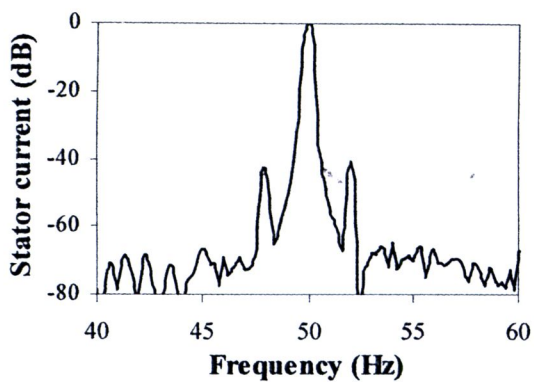
4 ตัวนำโรเตอร์แตก



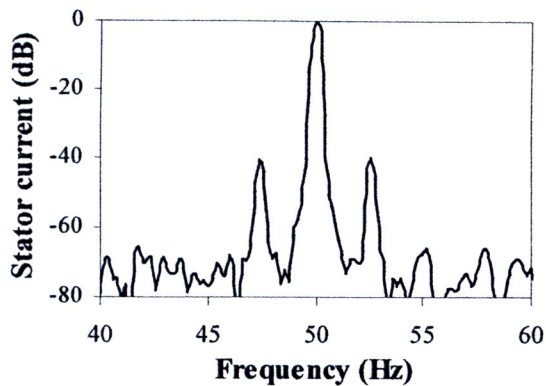
สภาวะไร้อโหลด



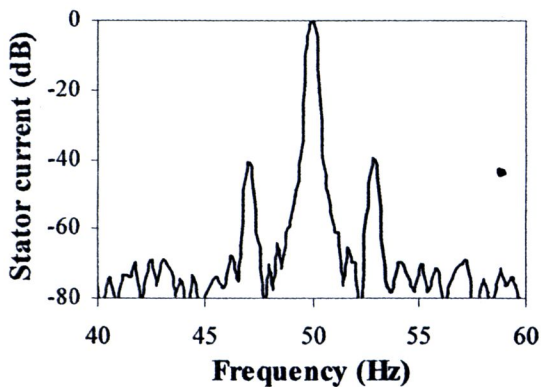
โหลด 10%



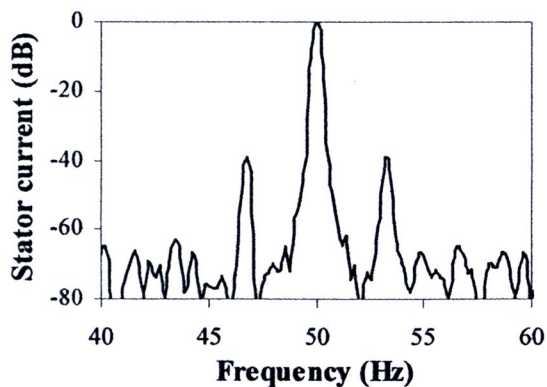
โหลด 20%



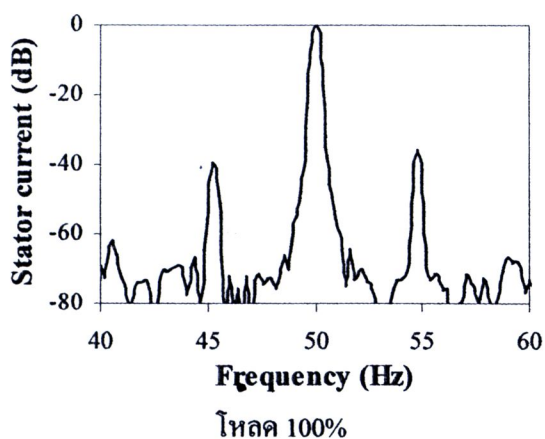
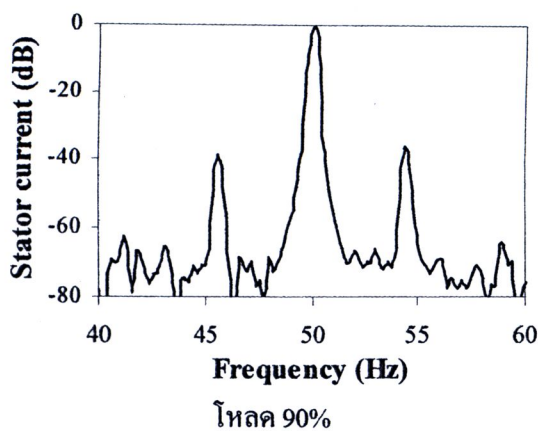
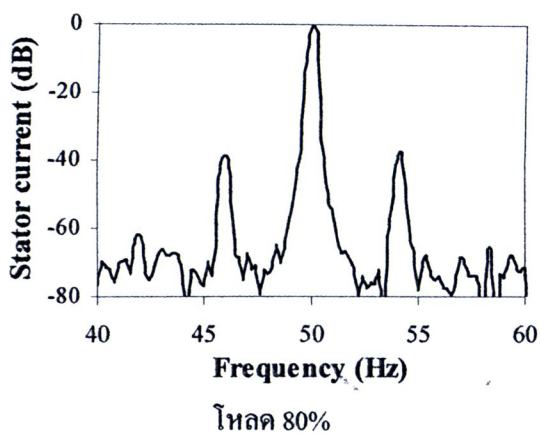
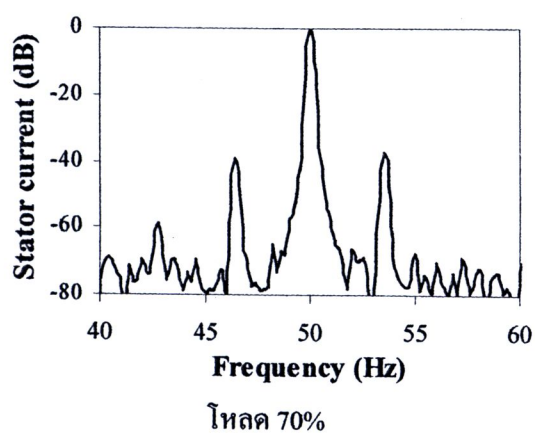
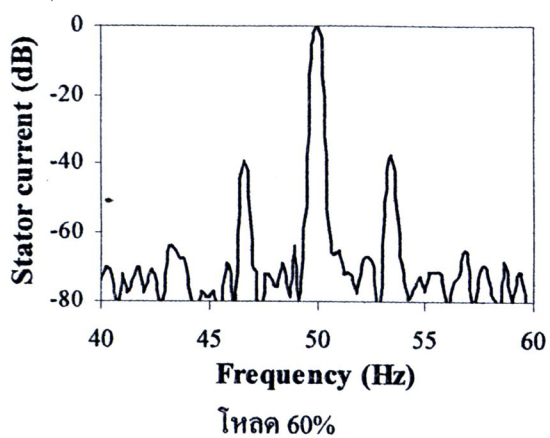
โหลด 30%



โหลด 40%

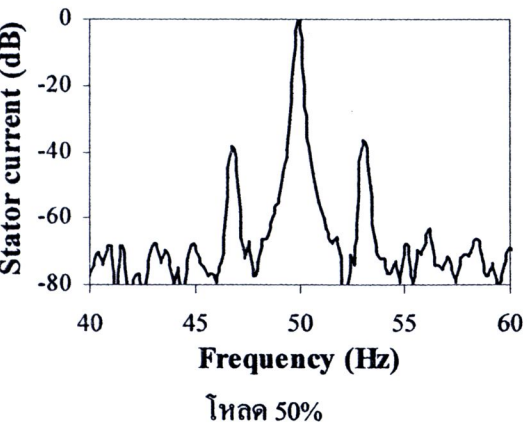
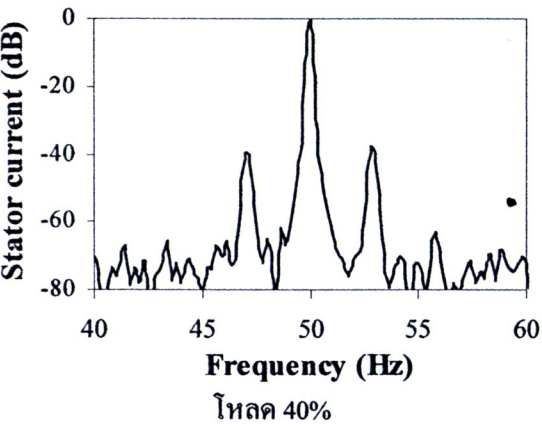
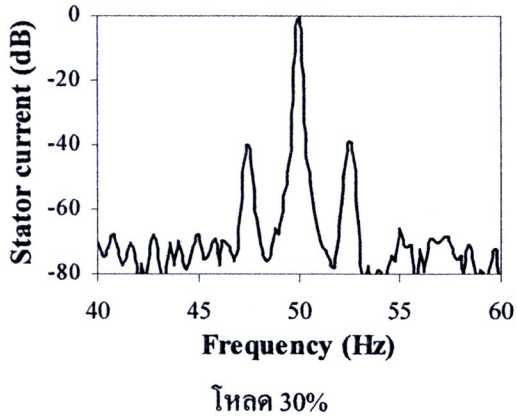
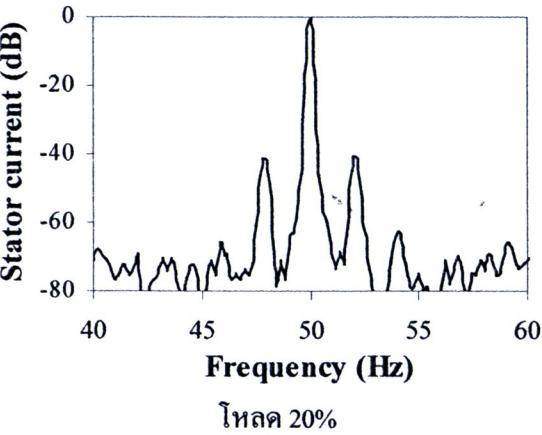
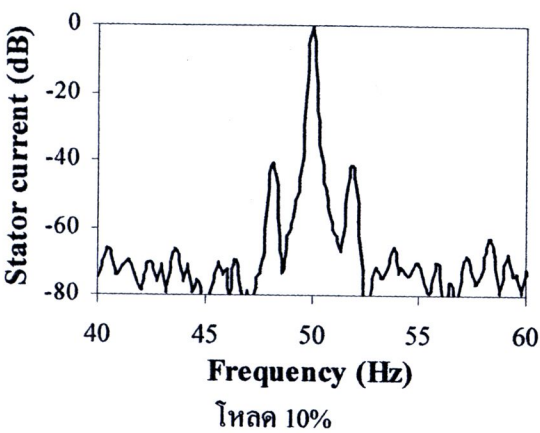
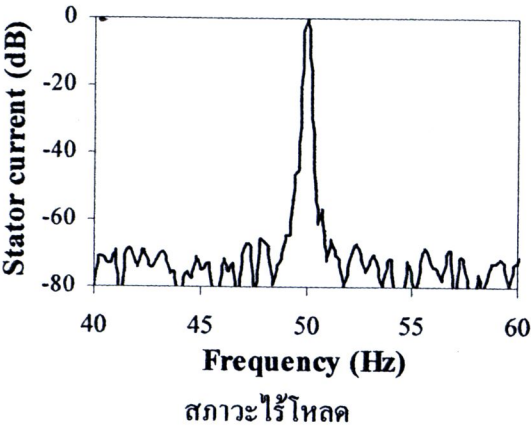


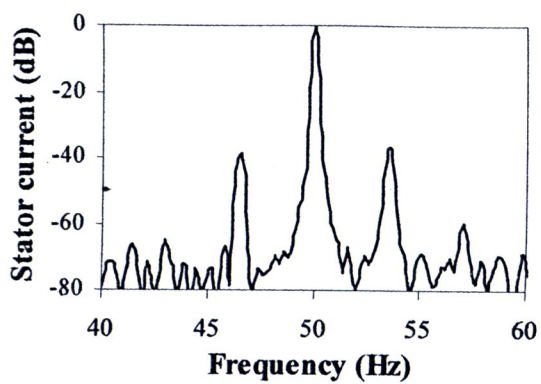
โหลด 50%



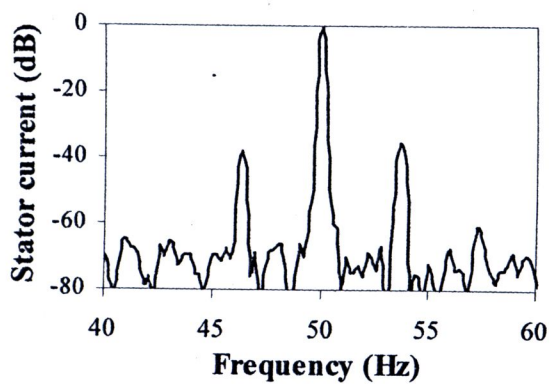
รูปที่ 3.16สเปกตรัมกระแสเตเตอร์สภาวะ 4 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

5 ตัวนำโรเตอร์แตก

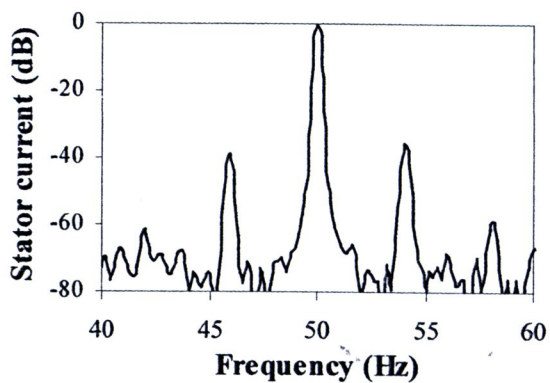




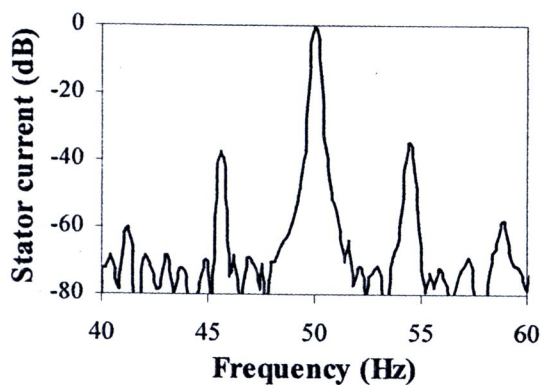
โหลด 60%



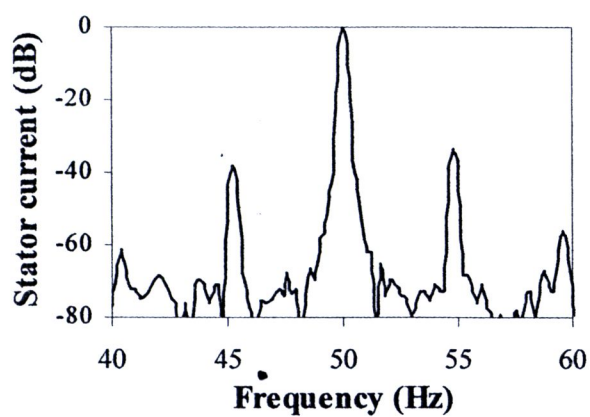
โหลด 70%



โหลด 80%



โหลด 90%

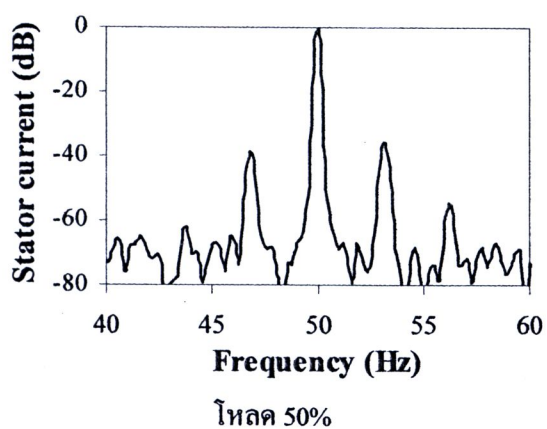
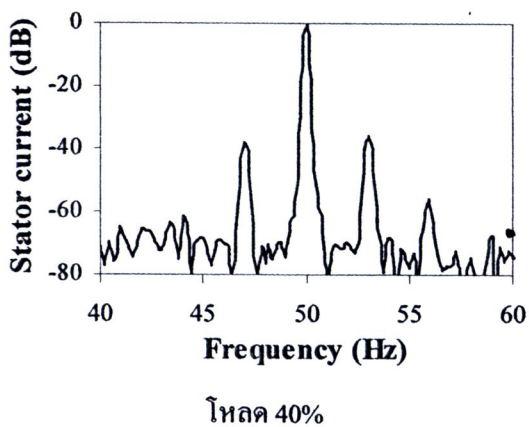
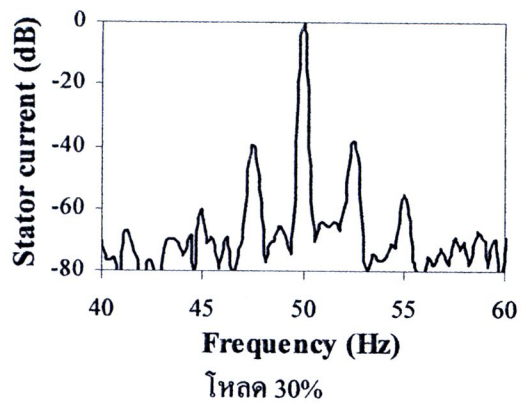
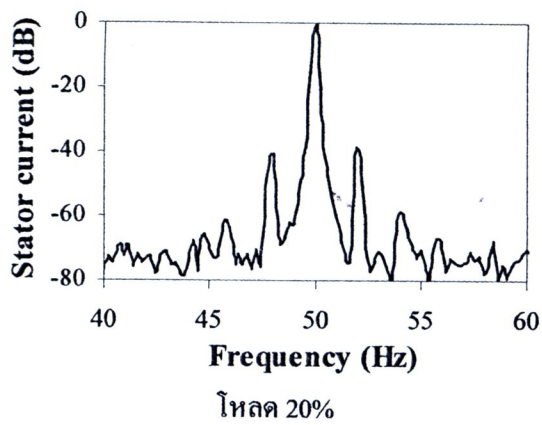
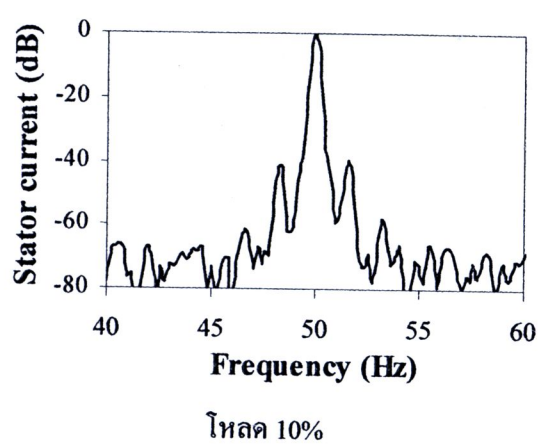
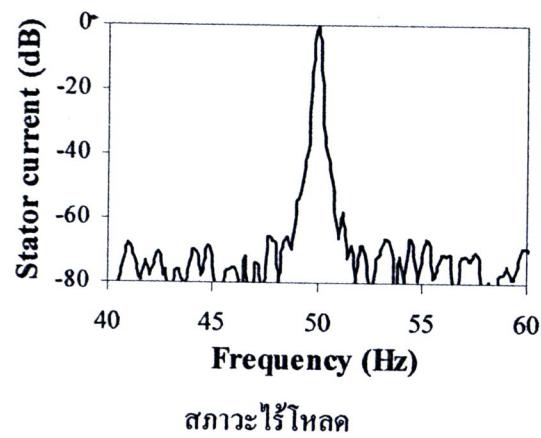


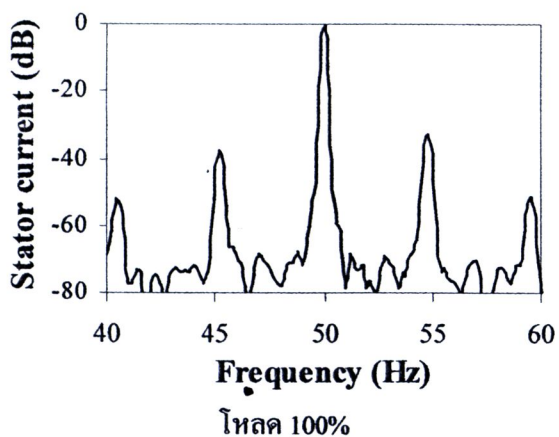
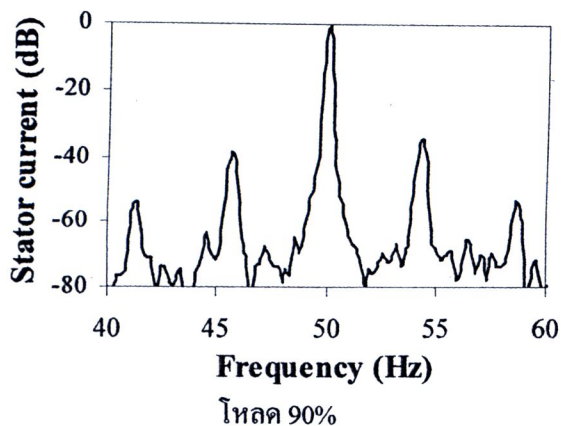
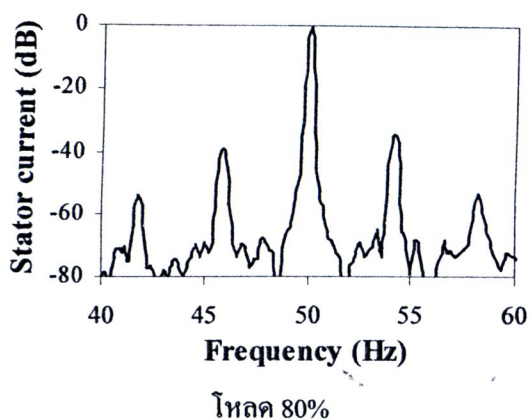
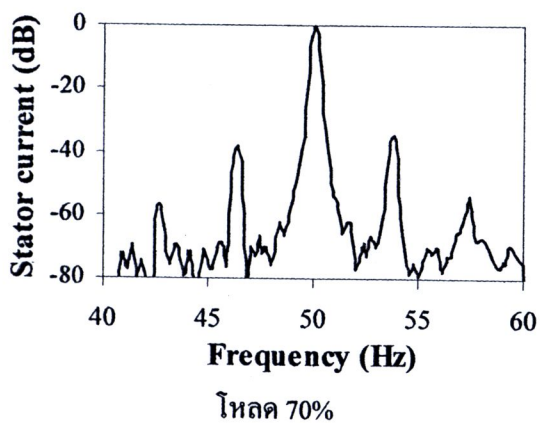
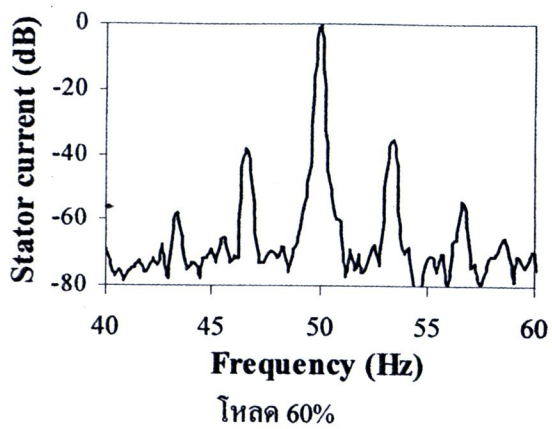
โหลด 100%



รูปที่ 3.17 สเปกตรัมกระแสสแตเตอร์สภาวะ 5 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

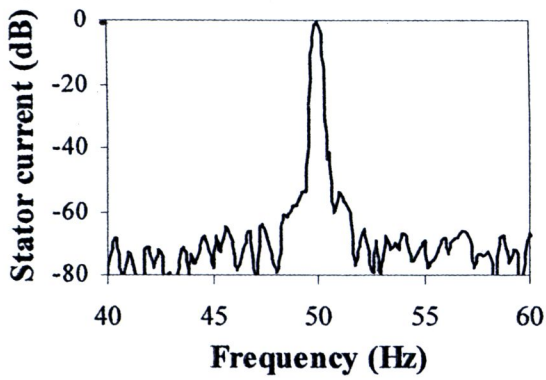
6 คำนวณโรเตอร์แตก



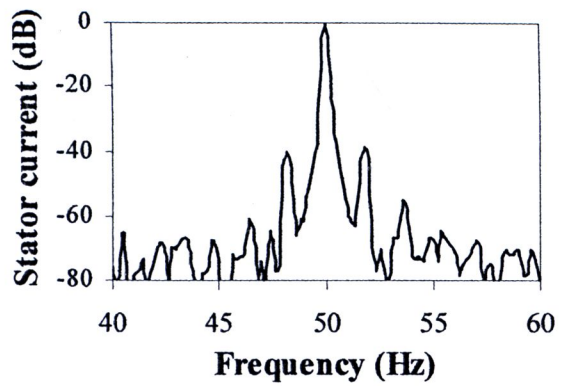


รูปที่ 3.18สเปกตรัมกระแสเตเตอร์สภาวะ 6 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

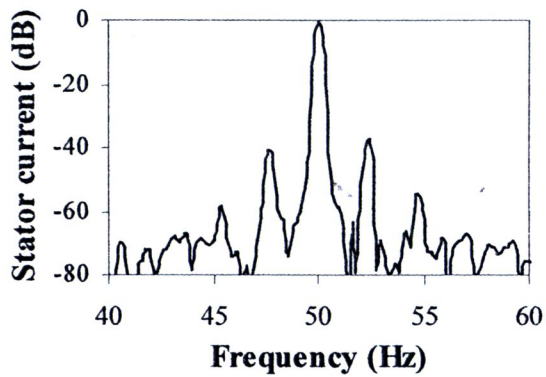
7 ตัวนำโรเตอร์แตก



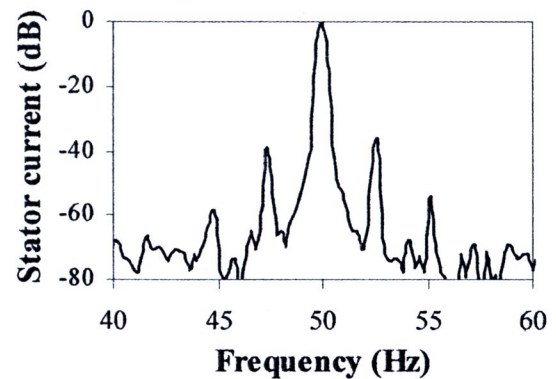
สภาวะไร้โหลด



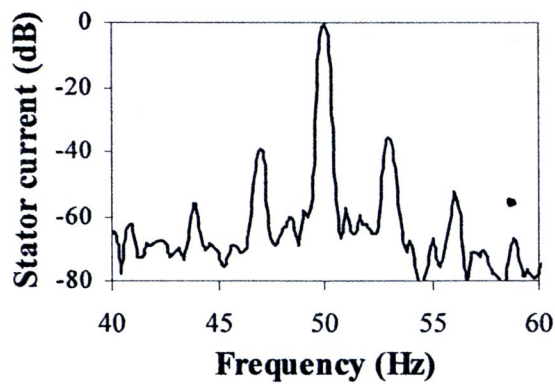
โหลด 10%



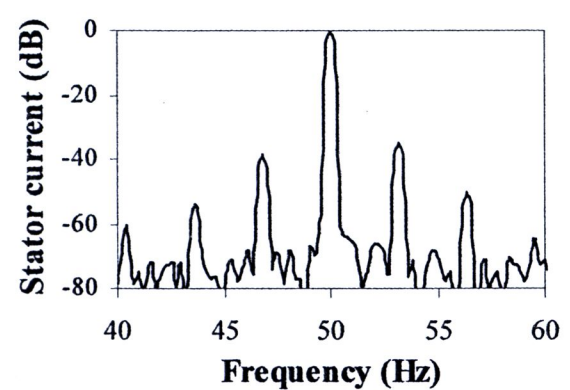
โหลด 20%



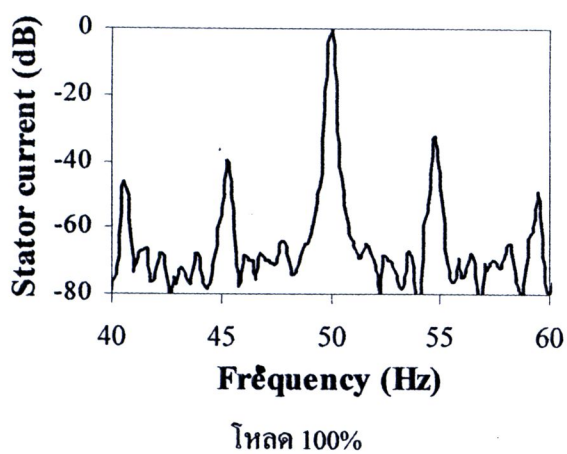
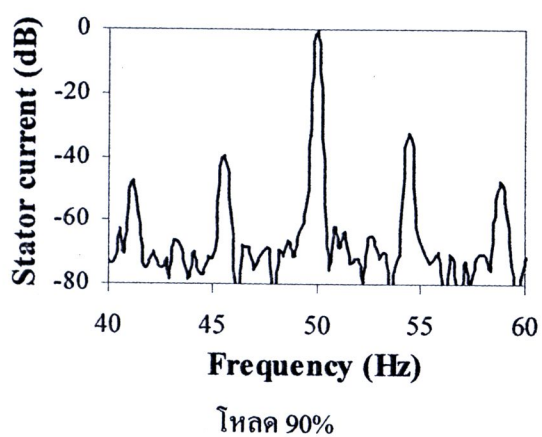
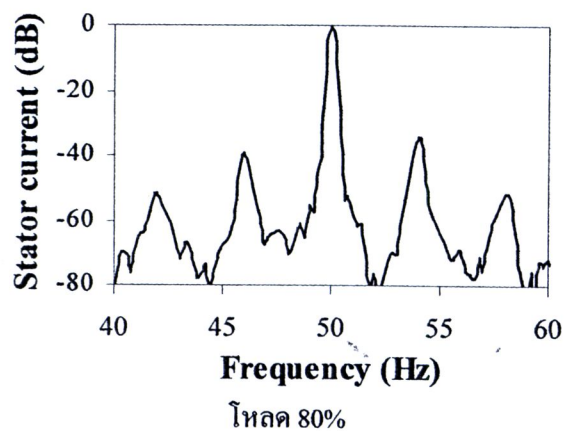
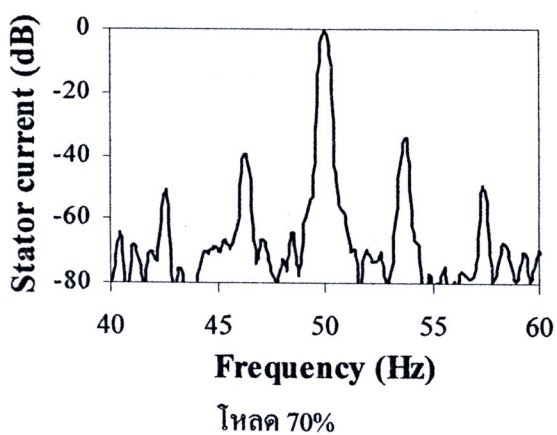
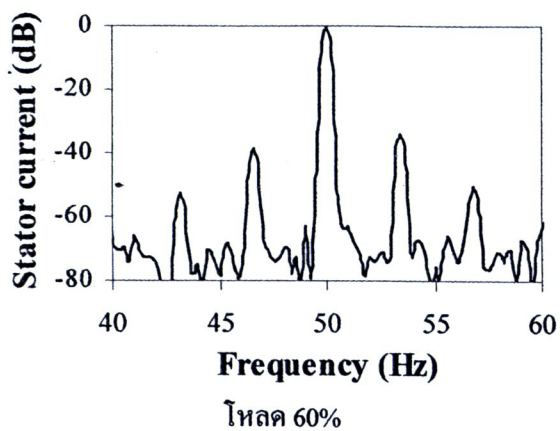
โหลด 30%



โหลด 40%

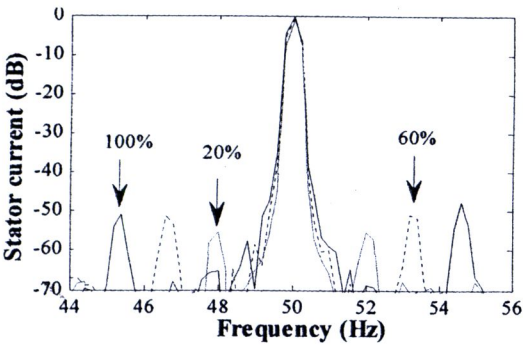


โหลด 50%



รูปที่ 3.19สเปกตรัมกระแสแสดงเตเตอร์สภาวะ 7 ตัวนำโรเตอร์แตก พิกัดโหลดต่างๆ

จากผลการทดลองสเปกตรัมกระแสสแตเตอร์จากแสดงดังรูปที่ 3.12-3.19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีตัวนำโรเตอร์แตกเกิดขึ้น ผลของสัญญาณกระแสสแตเตอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ที่ไม่สมมาตรทำให้ปรากฏฮาร์โมนิกเกิดขึ้นบริเวณรอบความถี่มูลฐานที่ความถี่เท่ากับ $(1-2s)f_e$ (Lower-Sideband, LSB) และ $(1+2s)f_e$ (Upper-Sideband, USB) [6, 7] ผลของฮาร์โมนิกที่ปรากฏขึ้นในกระแสสแตเตอร์สามารถใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของโรเตอร์ได้จากการตรวจจับสเปกตรัมกระแสสแตเตอร์และพบว่าผลของโหลดส่งผลให้ความถี่ของ LSB และ USB เปลี่ยนแปลงเนื่องจาก มอเตอร์ทำงานสภาวะโหลดที่สูงขึ้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าลดลงส่งผลให้ค่าสลิปของมอเตอร์สูงขึ้น จากสมการ $(1-2s)f_e$ คือ (Lower-Sideband, LSB) เมื่อ s มีค่ามากขึ้น ทำให้ความถี่ของ LSB มีค่าลดลง เช่นเดียวกับความถี่ของ USB จากสมการ $(1+2s)f_e$ ส่งผลให้ความถี่ USB มีค่าเพิ่มขึ้น ตามที่แสดงในรูปที่ 3.20 คือผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมกระแสสแตเตอร์ที่พิกัดโหลดต่างๆ



รูปที่ 3.20การเปรียบเทียบสเปกตรัมกระแสสแตเตอร์ที่พิกัดโหลดต่างๆ

ตาราง 3.5แสดงผลของความถี่จากการทดลอง และค่าจากการคำนวณโดยการวัดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์และคำนวณตามสมการ $(1\pm 2s)f_e$ พบว่าผลจากการทดลองและการคำนวณให้ผลที่ใกล้เคียงกันสามารถยืนยันความถูกต้องของตำแหน่งสเปกตรัมกระแสสแตเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

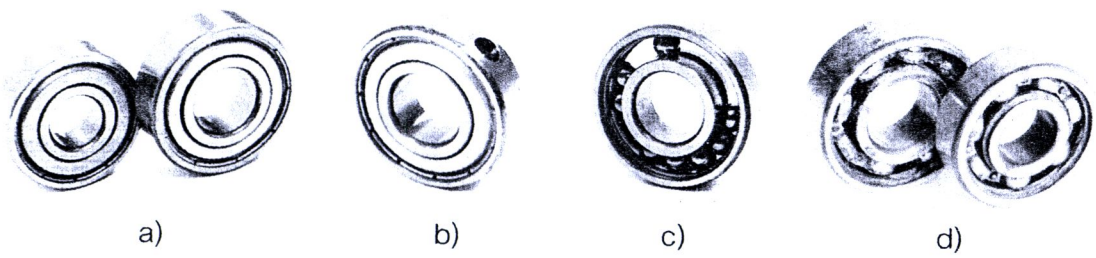
ตาราง 3.5 แสดงการเปรียบเทียบความถี่ระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ โหลด	ความถี่จากการทดลอง		ความถี่จากการคำนวณ		เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด	
	$(1+2s)f_e$	$(1-2s)f_e$	$(1+2s)f_e$	$(1-2s)f_e$	$(1+2s)f_e$	$(1-2s)f_e$
20%	52.13	47.86	52	48	0.256	0.277
40%	52.86	47.13	52.8	47.2	0.126	0.141
60%	53.4	46.6	53.4	46.6	0	0
80%	54	46	54	46	0	0

100%	54.66	45.33	54.6	45.2	0.122	0.295
------	-------	-------	------	------	-------	-------

2.ผลการทดลองเมื่อแบร์ริงเสียหาย

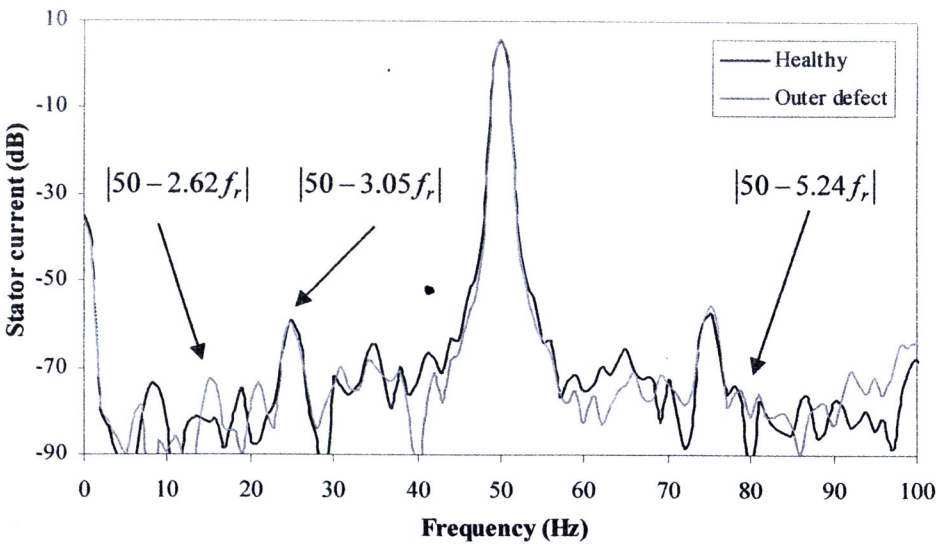
ผลการทดลองเมื่อแบร์ริงเสียหาย ได้แบ่งวิธีการตรวจสอบออกเป็น 2 เทคนิค คือ การวิเคราะห์ด้วยสัญญาณกระแสเตเตอร์ และการวิเคราะห์ด้วยสัญญาณเสียง สามารถแบ่งรูปแบบความเสียหายที่ใช้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการออกเป็น 4 กรณี ดังรูปที่3.21ประกอบด้วย กรณีแบร์ริงปกติ, ความเสียหายเนื่องจากร่องลื่นด้านนอก (Outer Raceway), ความเสียหายเนื่องจากโครงขีดยึดลูกปืน (Cage) และความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อน (Corrosion)



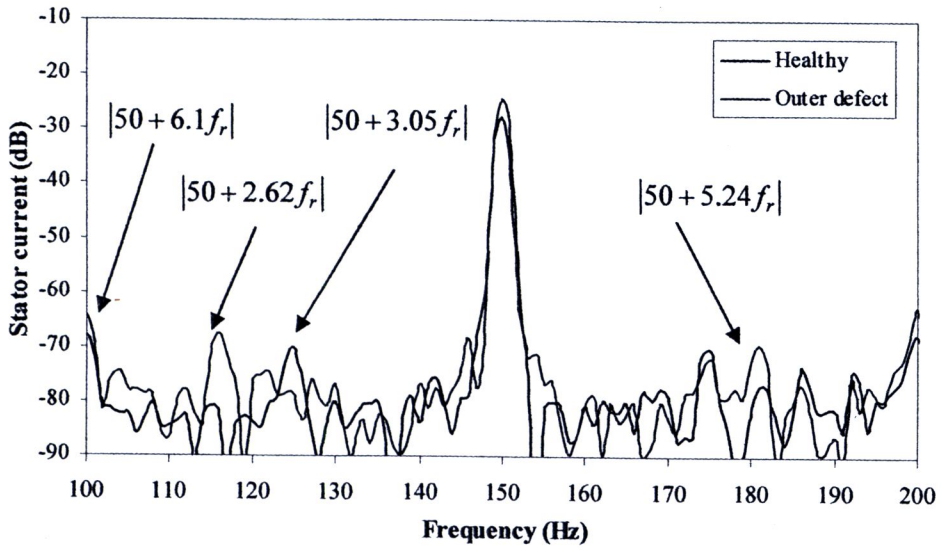
รูปที่3.21แบร์ริงของอินดักชั่นมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง a) แบร์ริงปกติ b) ความเสียหายเนื่องจากร่องลื่นด้านนอก (Outer Raceway) c) ความเสียหายเนื่องจากโครงขีดยึดลูกปืน (Cage) d) ความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อน (Corrosion)

ผลการทดลองสเปกตรัมกระแสเตเตอร์

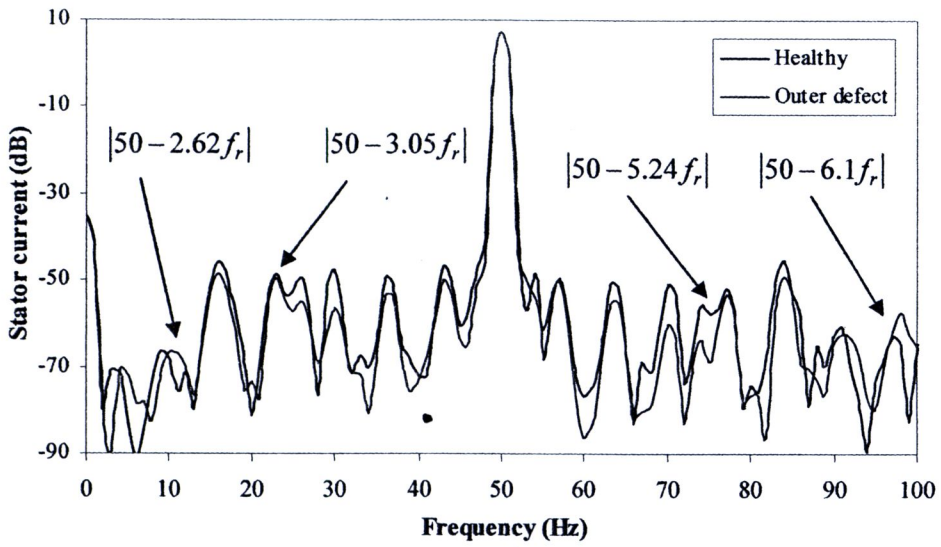
กรณี ความเสียหายเนื่องจากร่องลื่นด้านนอก (Outer Raceway)



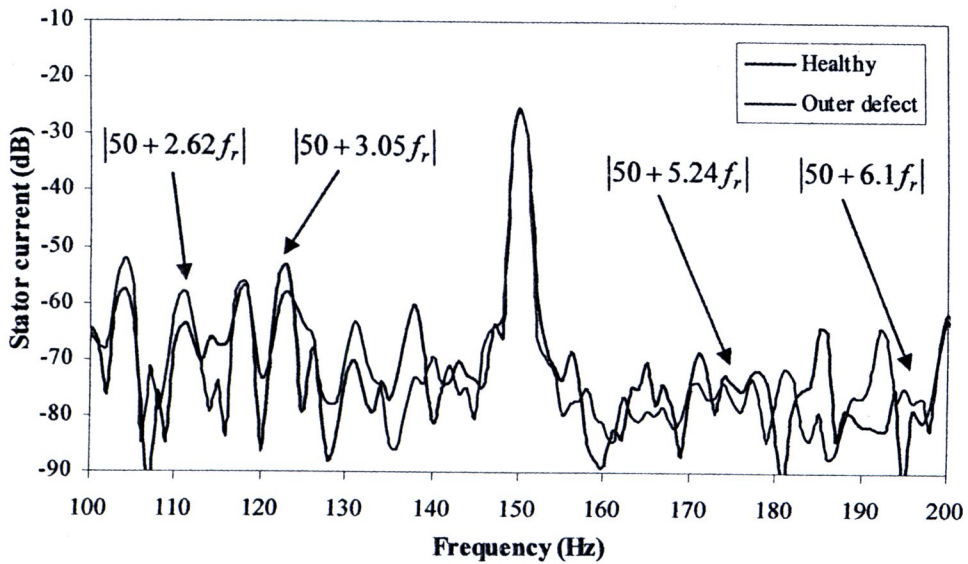
สภาวะไร้โหลด



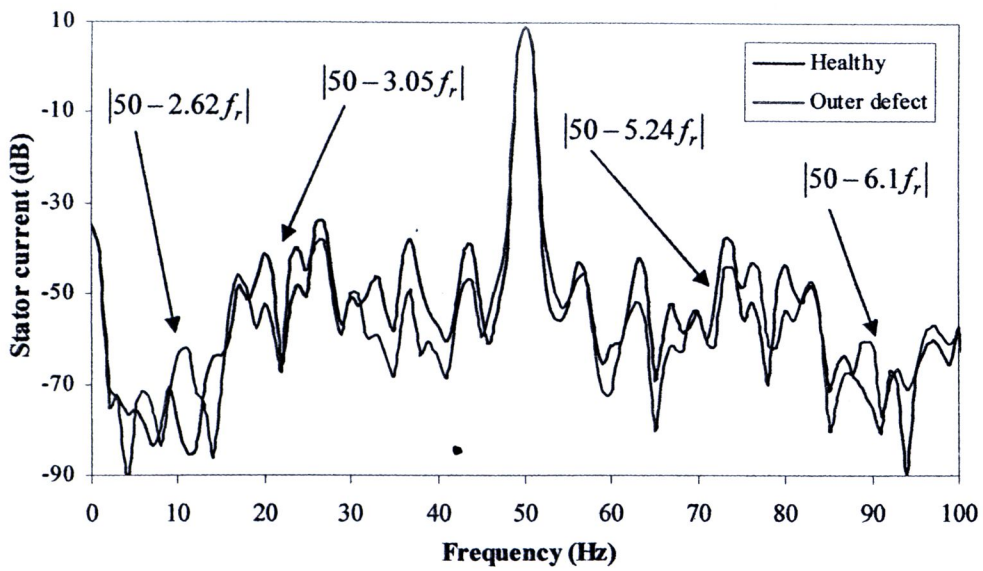
สภาวะไร้โหลด



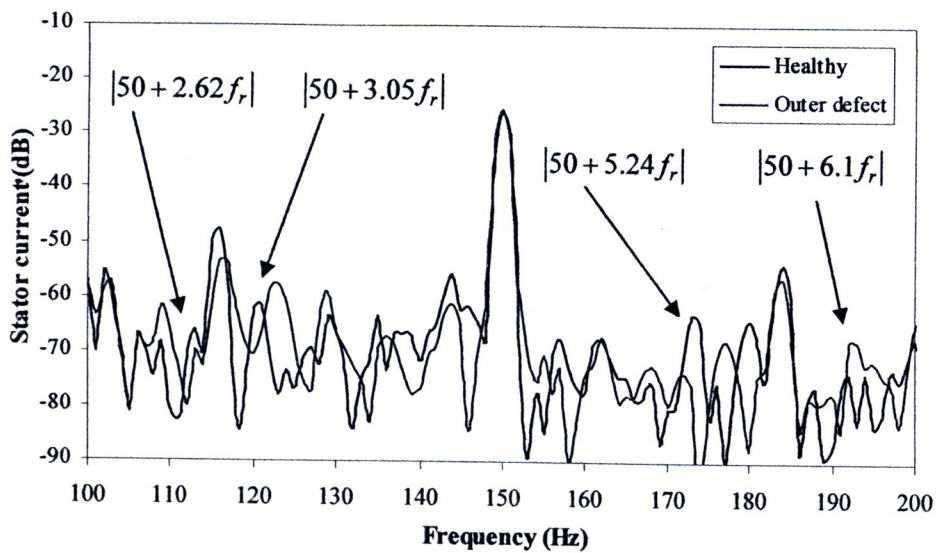
โหลด 50%



โหลด 50%



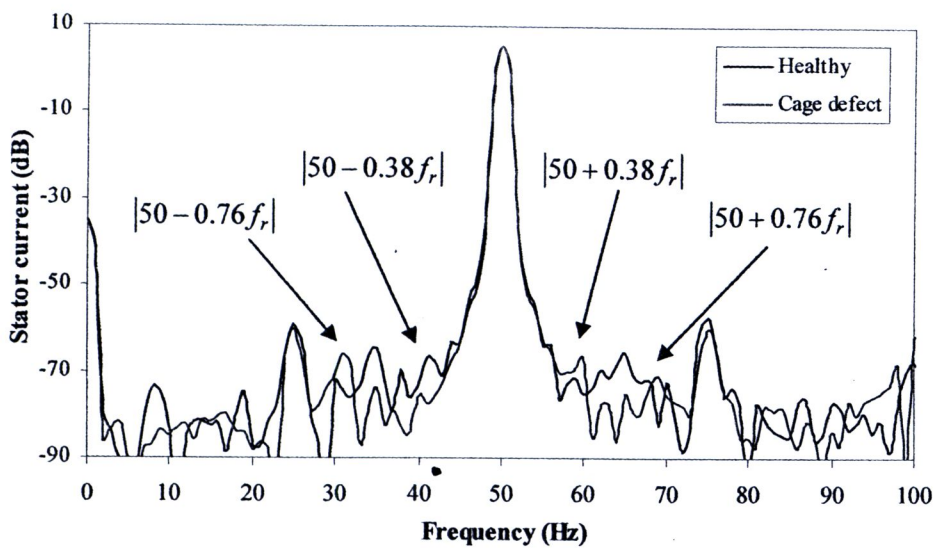
โหลด 100%



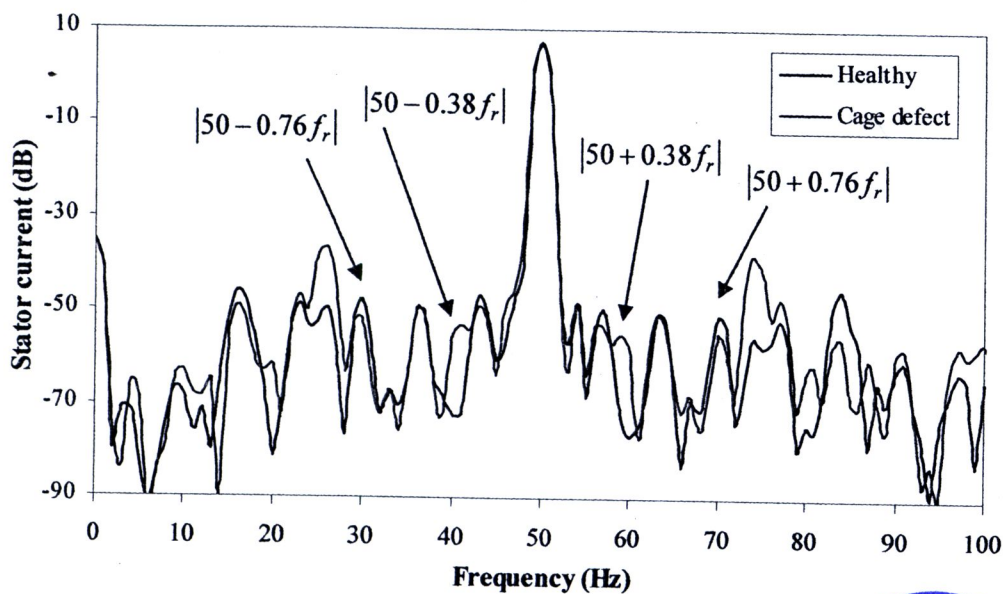
โหลด 100%

รูปที่ 3.22 การเปรียบเทียบสเปกตรัมกระแสจากความเสียหายร่องลื่นด้านนอก พิกัดโหลดต่างๆ

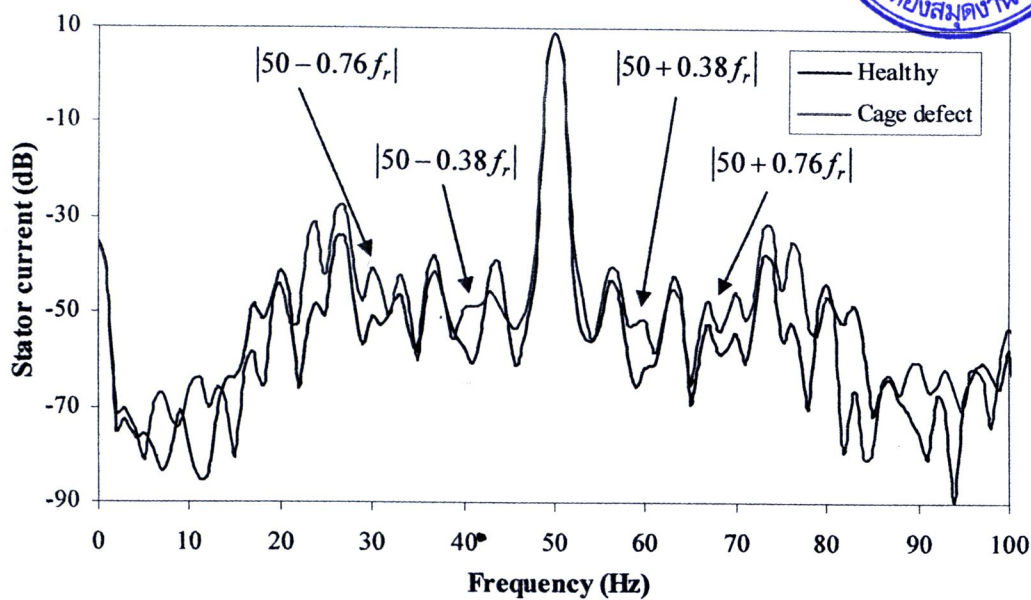
กรณี ความเสียหายเนื่องจากโครงซี่คูลูป (Cage)



สถานะไร้โหลด



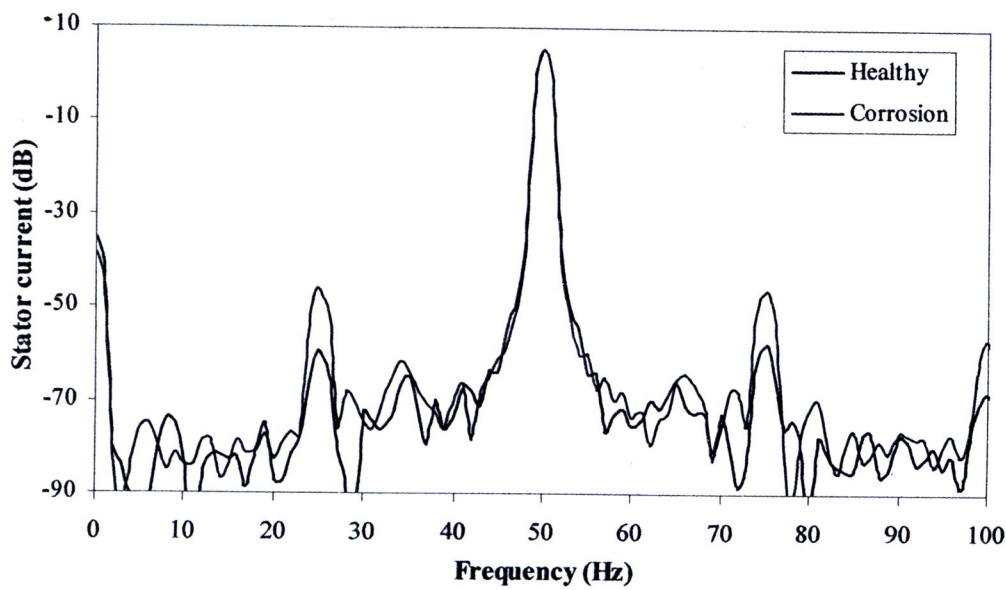
โหลด 50%



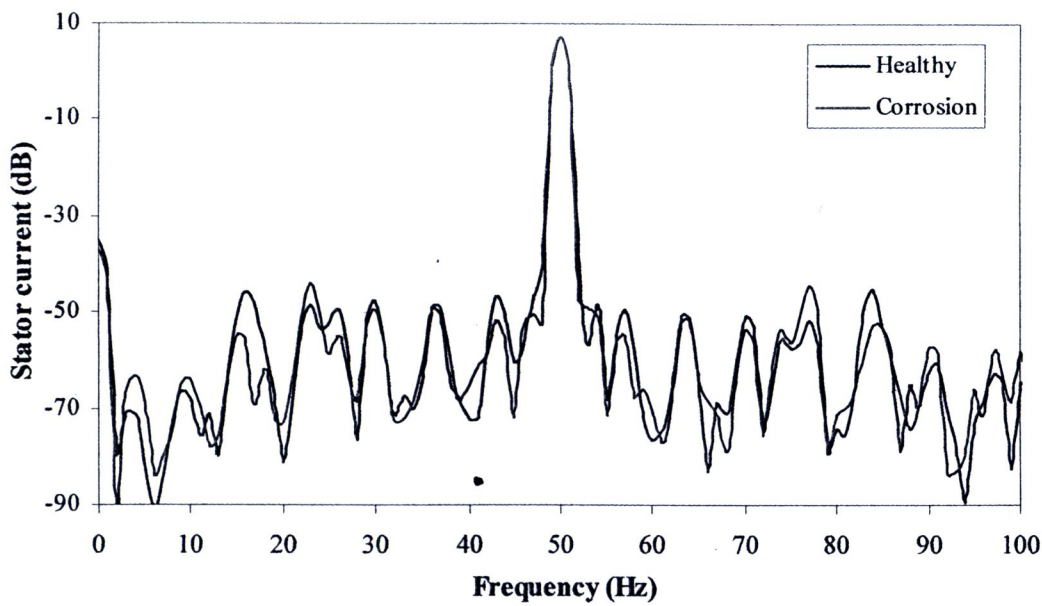
โหลด 100%

รูปที่ 3.23 การเปรียบเทียบสเปกตรัมกระแสจากความเสียหายโครงขีดยกเป็น พิกัดโหลดต่างๆ

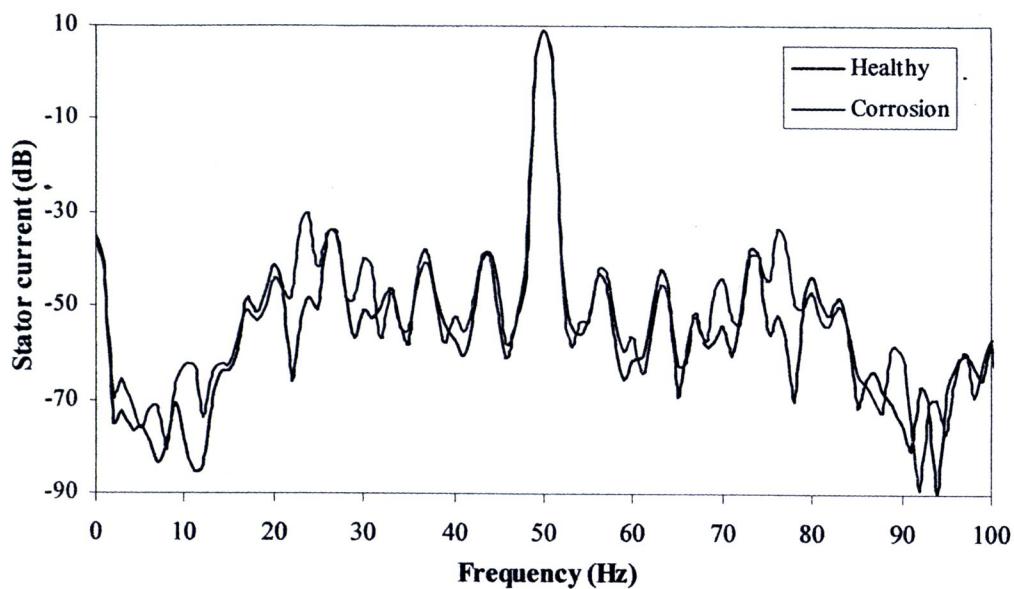
กรณี ความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อน (Corrosion)



สภาวะไร้โหลด



โหลด 50%

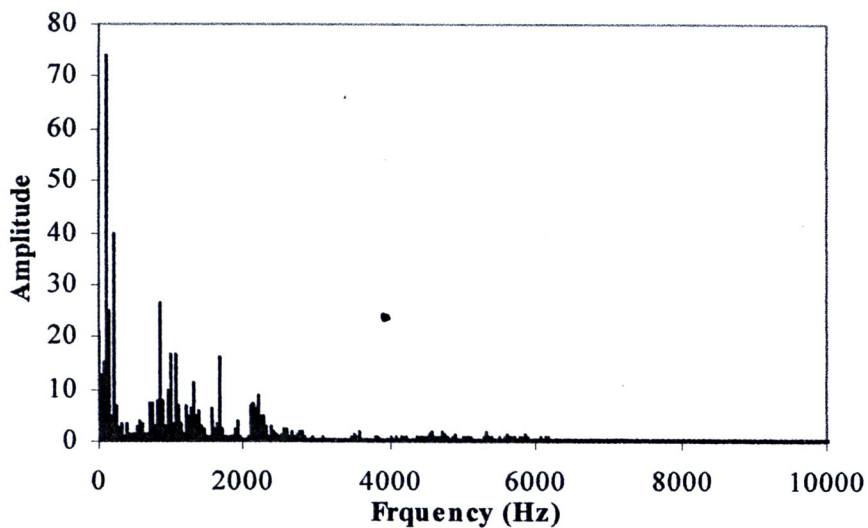


โหลด 100%

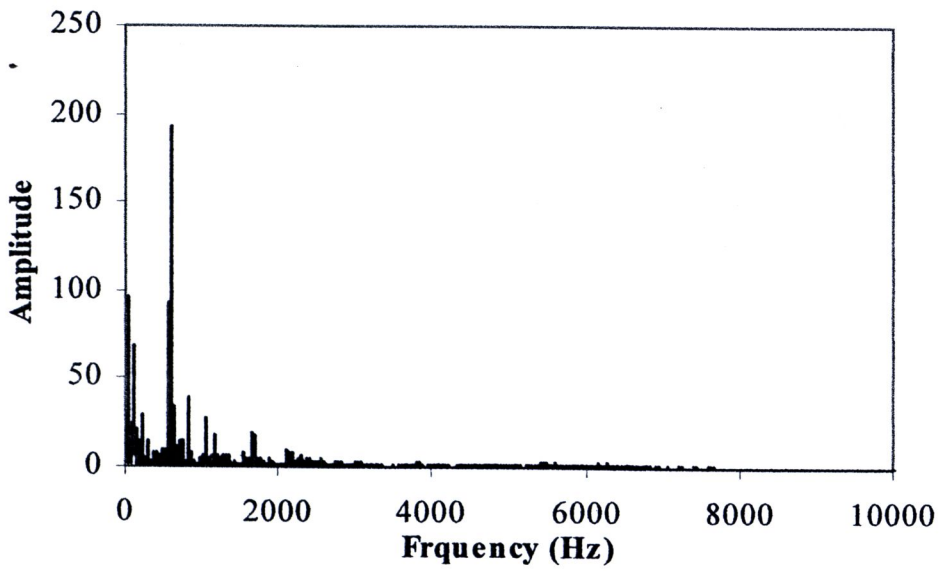
รูปที่ 3.24การเปรียบเทียบสเปกตรัมกระแสจากความเสียหายการกัดกร่อน พิกัดโหลดต่างๆ

ผลการทดลองสเปกตรัมเสียง

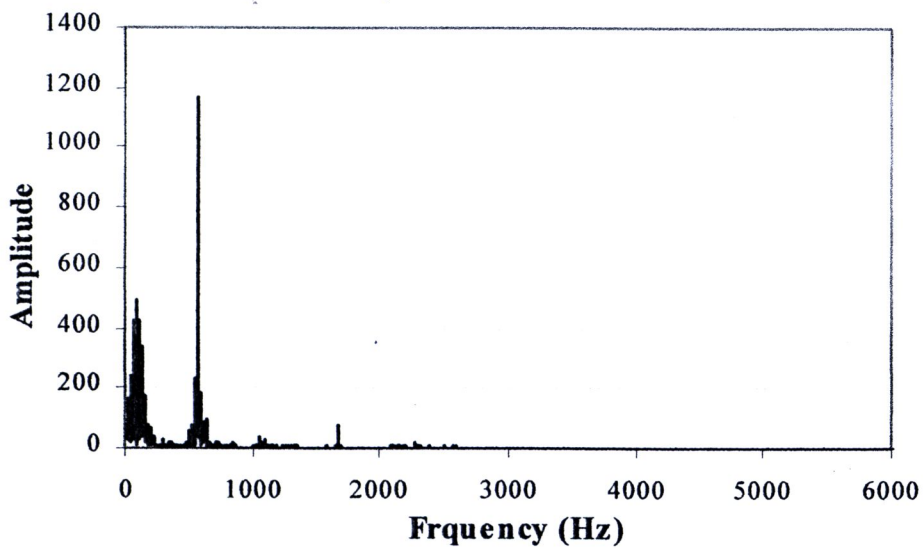
เบร้งปกติ



สภาวะไร้โหลด



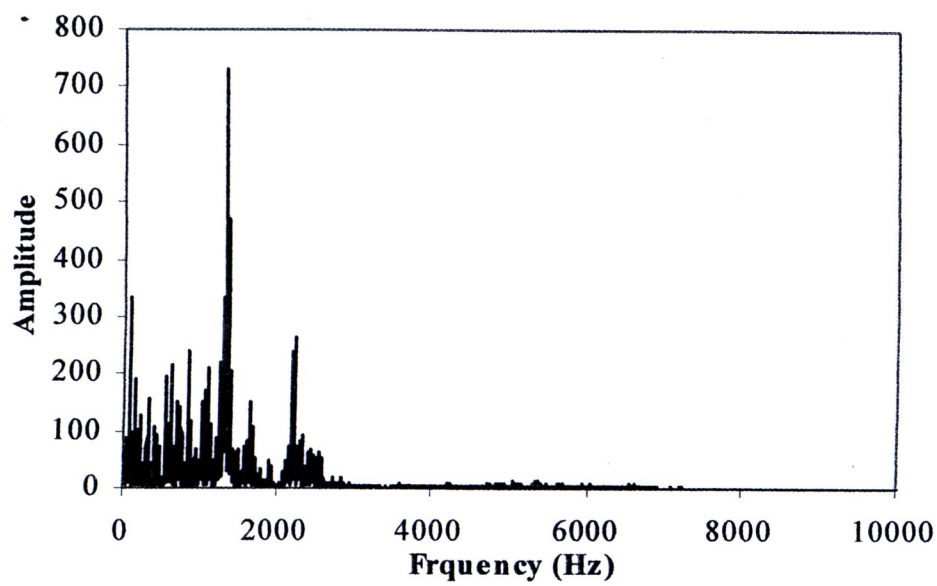
โหลด 50%



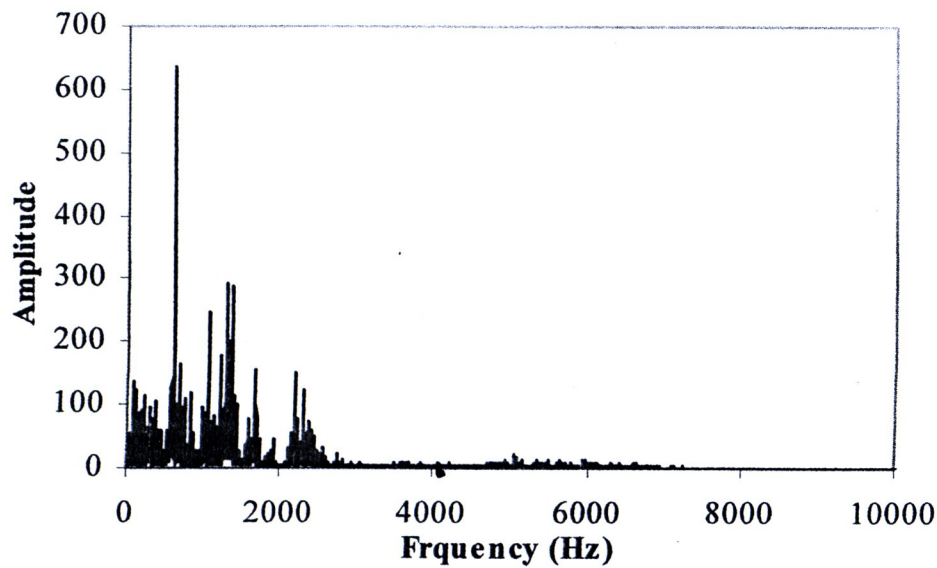
โหลด 100%

รูปที่ 3.25 การเปรียบเทียบสเปกตรัมเสียงกรณีเบริงปกติ พิกัดโหลดต่างๆ

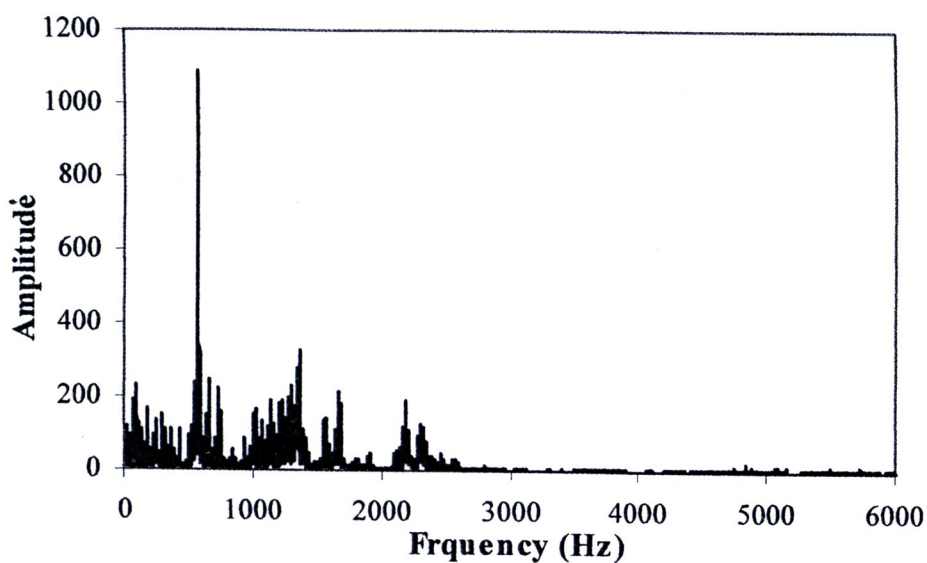
กรณี ความเสียหายเนื่องจากronglinด้านนอก (Outer Raceway)



สภาวะไร้โหลด



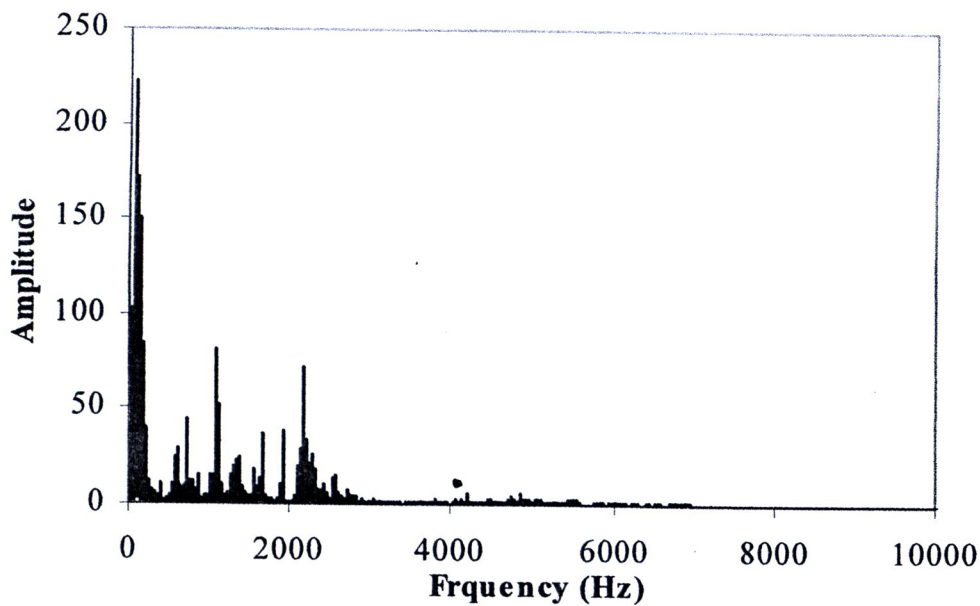
โหลด 50%



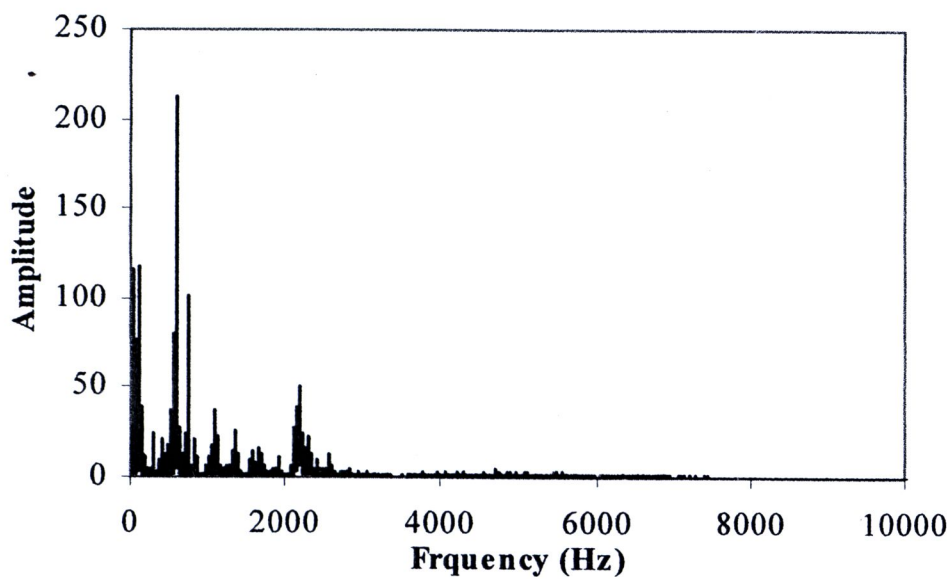
โหลด 100%

รูปที่ 3.26การเปรียบเทียบสเปกตรัมเสียงจากความเสียหายรองคลื่นด้านนอก พิกัด โหลดต่างๆ

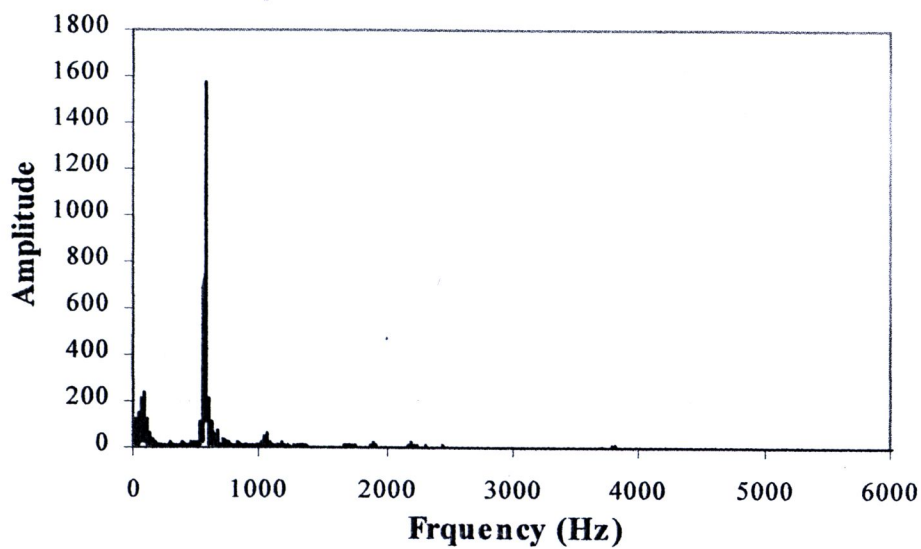
กรณี ความเสียหายเนื่องจาก โครงงขีดถูกป็น (Cage)



สภาวะไร้โหลด



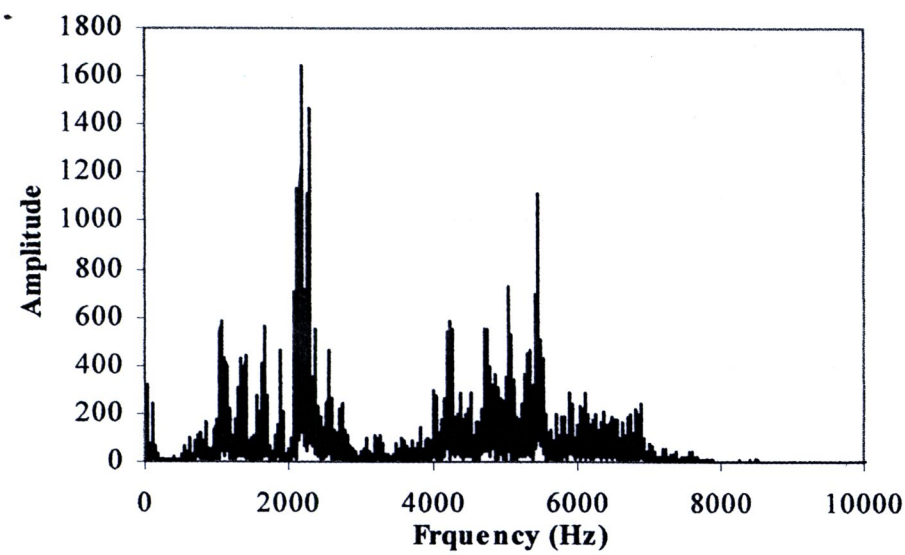
โหลด 50%



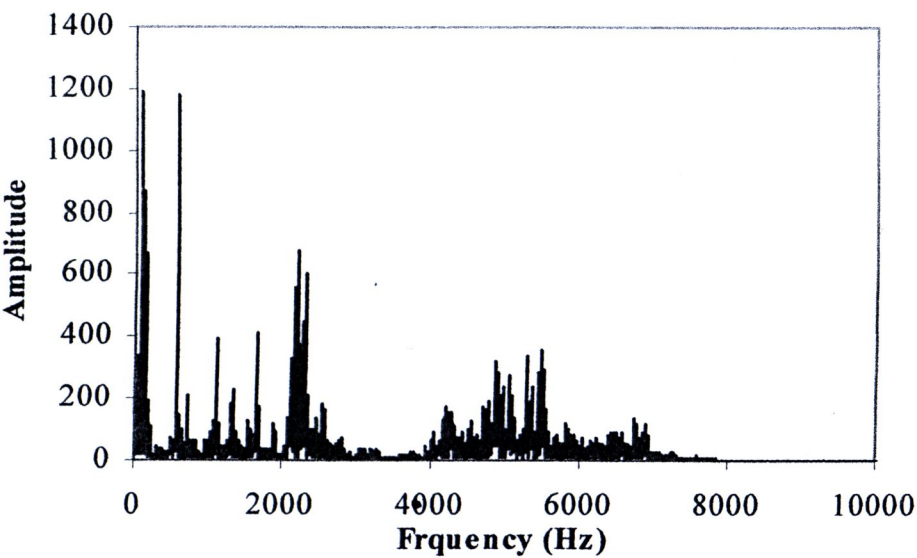
โหลด 100%

รูปที่ 3.27 การเปรียบเทียบสเปกตรัมเสียงจากความเสียหายโครงขี้ดลูกปิ่น พิกัดโหลดต่างๆ

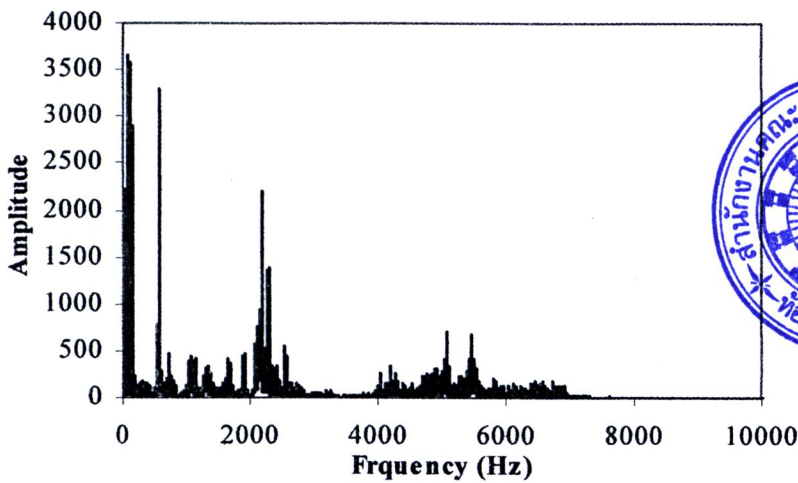
กรณี ความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อน (Corrosion)



สภาวะไร้โหลด



โหลด 50%



โหลด 100%

รูปที่ 3.28 การเปรียบเทียบสเปกตรัมเสียงจากความเสียหายการกัดกร่อน พิกัดโหลดต่างๆ

จากรูปที่ 3.22-3.28 สามารถอธิบายผลการทดลองดัง ตาราง 3.6 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการวินิจฉัยต่างๆ กับความเสียหายของแบร็งชนิดต่างๆ พบว่าการวินิจฉัยความผิดปกติของแบร็งด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสเตเตอร์ให้ผลที่ไม่ชัดเจนสำหรับกรณีร่องลื่นด้านนอกเสียหาย (Outer-Raceway) และเกิดการกัดกร่อน (Corrosion) แต่สำหรับกรณีโครงขีดยึดลูกปืนเสียหาย (Cage) ให้ผลสเปกตรัมกระแสเตเตอร์อย่างชัดเจนตามความถี่ที่ทำนาย และการวินิจฉัยความผิดปกติของแบร็งด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมเสียงให้ผลที่ชัดเจนสำหรับความเสียหายร่องลื่นด้านนอก และเกิดการกัดกร่อน แต่สำหรับกรณีโครงขีดยึดลูกปืนเสียหายผลของสเปกตรัมเสียงให้ผลไม่แตกต่างกับกรณีแบร็งปกติ ดังนั้น การวินิจฉัยความเสียหายของแบร็งจึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคในการตรวจสอบหลากหลายวิธี เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ และการวินิจฉัยความผิดปกติของแบร็งที่ถูกต้อง

ตาราง 3.6 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการวินิจฉัยต่างๆ กับความเสียหายของแบร็ง

Defective Condition	Diagnosis Techniques	
	Current Spectrum	Sound Spectrum
Outer Raceway	Fair	Good
Cage	Good	Bad
Corrosion	Bad	Good