

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์กระแสเตเตอร์ที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม LabVIEW ได้ทำการทดลองโดยใช้มอเตอร์ 2 ขนาด คือ 0.4 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1425 รอบต่อนาที 0.92 แอมป์ 4 ขั้ว จำนวนแท่งตัวนำในโรเตอร์ 48 แท่ง และขนาด 2.2 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1410 รอบต่อนาที 5.4 แอมป์ 4 ขั้ว จำนวนแท่งตัวนำในโรเตอร์ 28 แท่ง เนื่องจากมีขนาดเล็ก สะดวกในการจัดหา โหลดในการทดลองและสามารถทำการทดลองได้ง่าย โดยทำการทดลองตรวจจับความผิดปกติ ทั้ง 3 ชนิดคือ ความผิดปกติเนื่องจากการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ ความผิดปกติเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ และความผิดปกติเนื่องจากการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 ตัวตรวจจับกระแส 2 ชุด ยี่ห้อ FLUKE รุ่น Y8101A ขนาด 150 แอมป์ แรงดัน 300 โวลต์ อัตราส่วน 1/1000 กระแสเอาต์พุตสูงสุด 150 มิลลิแอมป์

4.1.2 ชุดความต้านทานสำหรับเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันขนาด 42 โอห์ม 2 วัตต์ 2 ชุด

4.1.3 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL1540 8 bits 200 Ms/s 150 MHz

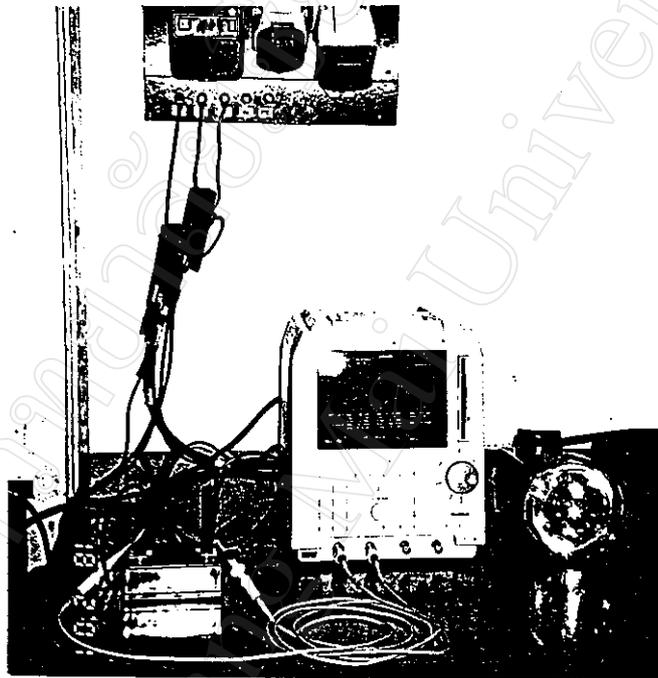
4.1.4 แหล่งจ่ายมาตรฐานสำหรับการใช้ในการ calibrate ชุดตรวจจับกระแสและโปรแกรมวิเคราะห์กระแสเตเตอร์ก่อนการตรวจวัดยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 2558 AC. Voltage Current Standard

4.1.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ (Stroboscope) ยี่ห้อ DIGICON Accuracy $\pm(0.05\% + 1 \text{ digit})$ Speed range 100 to 10000 RPM Sampling time 1 second

4.1.6 คอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล Pentium 200 MHz Ram 16 Mb Hard disk 2.1 Gb

4.2 การเตรียมเครื่องมือก่อนการตรวจสอบ

4.2.1 เตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยขั้นแรกจะเป็นการตรวจวัดกระแสสแตเตอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดคือ หัวตรวจจับกระแสสแตเตอร์ 2 ชุด ชุดคล้องตัวด้านทาน สำหรับใช้แปลงกระแสเป็นแรงดันและคิจิตอลออสซิลโลสโคปปรับเวลาต่อช่องไว้ที่ 200 มิลลิวินาทีต่อช่อง เท่ากับความถี่ในการสุม 2000 ตัวอย่างต่อวินาที และปรับแรงดันต่อช่องไว้ที่ 200 มิลลิโวลต์ต่อช่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



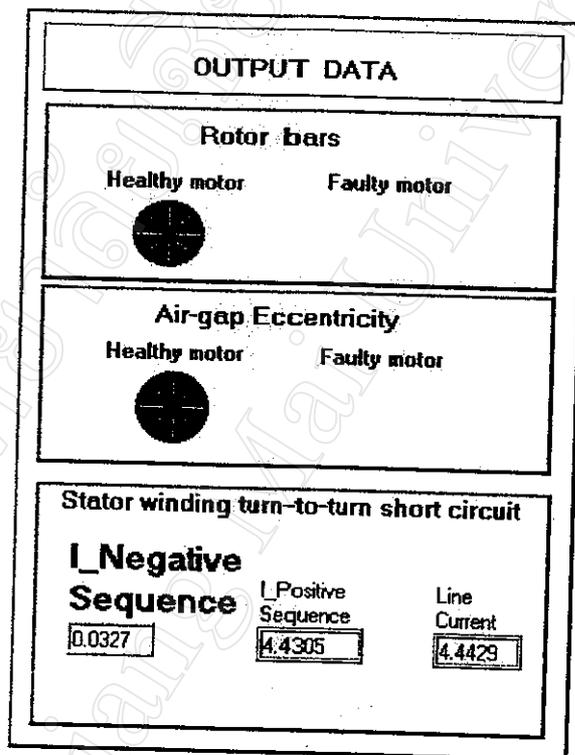
รูปที่ 4.1 การเตรียมเครื่องมือก่อนการตรวจสอบ

4.2.2 ทำการ Calibrate หัวตรวจวัดกระแสสแตเตอร์และโปรแกรมวิเคราะห์กระแสสแตเตอร์ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข

4.3 ขั้นตอนการตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์

4.3.1 หลังจากทำการ Calibrate เสร็จแล้ว และจัดเตรียมเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 4.1 ทำการตรวจวัดกระแสของมอเตอร์โดยวัดที่เฟส A กับเฟส B ส่วนเฟส C โปรแกรมจะทำการคำนวณจากเฟส A และเฟส B ในการวัดให้ตรวจสอบลำดับเฟสของกระแสทั้ง 2 เฟสให้ถูกต้อง

- 4.3.2 ให้ทำการวัดกระแส 2 ครั้งคือ ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด
- 4.3.3 ทำการบันทึกข้อมูลของกระแสบนอสซิลโลสโคปทั้ง 2 เฟสลงในแผ่นดิสก์
- 4.3.4 ทำการ Run โปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยนำข้อมูลของกระแสในแผ่นดิสก์ ซึ่งอยู่ในรูปของ Spread sheet มาเป็นข้อมูลสำหรับการประมวลผลในการ Run โปรแกรมจะต้องใส่ข้อมูลกระแสขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดก่อนแล้วตามด้วยกระแสขณะไม่มีโหลด
- 4.3.5 หลังจากทำการ Run โปรแกรมเสร็จแล้ว สามารถดูผลการตรวจวินิจฉัยจากส่วน Output Data ของ Front Panel ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์

4.4 ผลการตรวจจับและการวิเคราะห์การแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์

ในการตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ที่เกิดการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์จะเฝ้ามองความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนสเปกตรัมของกระแสที่ความถี่ $(1 \pm 2s) * f_r$ โดยทำการตรวจวัดกระแสขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดดังนี้

4.4.1 มอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์

ทำการทดลองที่ความเร็วรอบขณะไม่มีโหลดเท่ากับ 1490 รอบต่อนาที ความเร็วรอบขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเท่ากับ 1420 รอบต่อนาที จำนวนแท่งตัวนำในโรเตอร์ 48 แท่ง 4 ขั้ว

รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดและใกล้เคียงโหลดพิกัดเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติ

รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของกระแสขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์หัก 2 แท่ง และ 4 แท่ง

รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมของกระแสขณะไม่มีโหลด และขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด เมื่อเกิดการแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์ 6 แท่ง

4.4.2 มอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์

ความเร็วรอบขณะไม่มีโหลดเท่ากับ 1495 รอบต่อนาที ความเร็วรอบขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเท่ากับ 1440 รอบต่อนาที จำนวนแท่งตัวนำในโรเตอร์ 28 แท่ง 4 ขั้ว

รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติ

รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมของกระแสขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์หัก 2 แท่ง 4 แท่ง และ 6 แท่ง ตามลำดับ

4.4.3 การวิเคราะห์ผลการตรวจับการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์

จากผลการตรวจวัดสเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์ ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.3 พบว่า จะไม่เกิดสเปกตรัมที่ความถี่ $(1 \pm 2s) * f_1$ คือที่ 43.3 เฮิร์ต และ 56.7 เฮิร์ต (สถิติมีค่าเท่ากับ 0.067)

เมื่อเกิดการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ พบว่าจะเกิดสเปกตรัมที่ความถี่ $(1 \pm 2s) * f_1$ คือที่ 43.3 เฮิร์ต และ 56.7 เฮิร์ต โดยในรูปที่ 4.4 (ก) แท่งตัวนำโรเตอร์หัก 2 แท่ง แอมพลิจูดมีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวนเล็กน้อย และเมื่อเกิดการแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์มากขึ้นคือ 4 แท่ง และ 6 แท่ง ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.4 (ข) และรูปที่ 4.5 (ก) แอมพลิจูดของ Side band จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนแท่งตัวนำที่แตกหักมากขึ้น

ในกรณีที่ทำการตรวจวัดขณะไม่มีโหลด จะทำให้ไม่สามารถตรวจับความผิดปกติได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แท่งตัวนำโรเตอร์หัก 6 แท่ง ดังนั้นจะต้องทำการตรวจวัดขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดจึงจะตรวจวัดความถี่ที่ผิดปกติได้ชัดเจนที่สุด และในกรณีที่มอเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น

จะเกิดสเปกตรัมที่ความถี่ $(1 \pm 2s) * f_c$ เช่นกันโดยเกิดที่ประมาณ 46 เฮิร์ตและ 54 เฮิร์ต (สลิปมีค่าเท่ากับ 0.04) และแอมพลิจูดของความถี่ที่ผิดปกติดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของแท่งตัวนำในโรเตอร์ที่เกิดการแตกหักดังผลการทดลองในรูปที่ 4.7

4.5 ผลการตรวจจับและการวิเคราะห์ความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์

ในการตรวจจับความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์จะตรวจจับโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสเปกตรัมที่ความถี่ $f_c \pm n$ ขณะไม่มีโหลดเทียบกับขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด โดยทำการตรวจจับแอมพลิจูดของ Lower side-band ($f_c - n$) และ Upper side-band ($f_c + n$)

4.5.1 มอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์

ทำการทดลองที่ความเร็วรอบขณะไม่มีโหลดเท่ากับ 1490 รอบต่อนาที ความเร็วรอบขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเท่ากับ 1420 รอบต่อนาที จำนวนแท่งตัวนำในโรเตอร์ 48 แท่ง 4 ขั้ว

รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมของกระแส Lower side-band เมื่อแบร์ริงปกติและแบร์ริงชำรุดขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดโดยลักษณะการชำรุดเกิดขึ้นที่ลูกปืนของแบร์ริงดังแสดงในรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมของกระแส Upper side-band เมื่อแบร์ริงปกติและแบร์ริงชำรุดขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด

4.5.2 มอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์

ความเร็วรอบขณะไม่มีโหลดเท่ากับ 1495 รอบต่อนาที ความเร็วรอบขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดเท่ากับ 1440 รอบต่อนาที จำนวนแท่งตัวนำในโรเตอร์ 28 แท่ง 4 ขั้ว

รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมของกระแส Lower side-band เมื่อแบร์ริงปกติและแบร์ริงชำรุดขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด

รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมของกระแส Upper side-band เมื่อแบร์ริงปกติขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด และเมื่อแบร์ริงชำรุดขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด

รูปที่ 4.14 ลักษณะการชำรุดของแบร์ริง

4.5.3 การวิเคราะห์ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์

จากผลการตรวจวัดกระแสสเตเตอร์กรณีที่แบร์ริงปกติขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียง โหลดพิกัดของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์ ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) พบว่าแอมพลิจูดของ Lower side-band ที่ความถี่ 25.2 เฮิร์ตขณะไม่มีโหลด และที่ความถี่ 26.3 เฮิร์ตขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด มีค่าสูงขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 4.9(ก) และ (ข) พบว่าแอมพลิจูดของ Upper side-band ที่ความถี่ 74.8 เฮิร์ตขณะไม่มีโหลด และที่ความถี่ 73.7 เฮิร์ตขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัดมีค่าสูงขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น นั่นคือไม่มีการลดลงของ Upper และหรือ Lower side-band ในกรณีที่แบร์ริงปกติหรือไม่เกิดความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์

และจากผลการตรวจวัดกรณีที่แบร์ริงเสียหรือเกิดความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.8 (ก) และรูปที่ 4.8 (ข) พบว่าแอมพลิจูดของ Lower side-band ที่ความถี่ 25.2 เฮิร์ตและที่ 26.3 เฮิร์ตมีค่าต่ำลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น โดยต่ำลงจากค่าแอมพลิจูดขณะไม่มีโหลด 39 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Upper side-band จากรูปที่ 4.9 (ก) และรูปที่ 4.9 (ข) มีค่าสูงขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น และเมื่อมอเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นคือขนาด 2.2 กิโลวัตต์ พบว่าเมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์แอมพลิจูดของ Upper และหรือ Lower side-band มีค่าต่ำลง 62 เปอร์เซ็นต์เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นจากไม่มีโหลดถึงมีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด

ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์จะทำให้แอมพลิจูดของ Lower side-band และหรือ Upper side-band มีค่าต่ำลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นและจาก [2]

เมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์จะทำให้ Lower และ Upper side-band มีค่าต่ำลงมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นจากไม่มีโหลดจนถึงค่ามีโหลดใกล้เคียงโหลดพิกัด

4.6 ผลการตรวจจับและการวิเคราะห์การลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์

ในการตรวจจับการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์จะตรวจจับโดยดูจากขนาดของกระแสลำดับลบ โดยจะทำการวัดกระแสสองเฟส คือเฟส A และเฟส B ส่วนเฟส C จะทำการคำนวณจากกระแสทั้งสองเฟส ในการวัดจะต้องคำนึงถึงลำดับเฟสด้วย ถ้าหากลำดับเฟสไม่ถูกต้องกระแสลำดับลบ ที่คำนวณได้จะมีค่าผิดพลาดด้วย

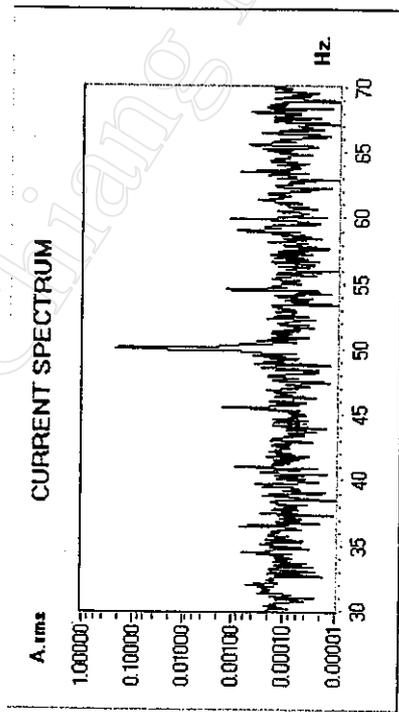
รูปที่ 4.12 แสดงผลการตรวจวัดกระแสลำดับลบ ขดลวดสเตเตอร์ปกติและขดลวดสเตเตอร์ที่มีการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด โดยเกิดการลัดวงจรที่ขดลวดเฟส A ที่ประมาณ 15 % ของขดลวดทั้งหมดของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์

รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวัดกระแสลำดับลบของขดลวดสเตเตอร์ปกติและขดลวดสเตเตอร์ที่มีการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด โดยเกิดการลัดวงจรที่ขดลวดเฟส A ที่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของขดลวดทั้งหมดของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์

4.6.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดจากการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์

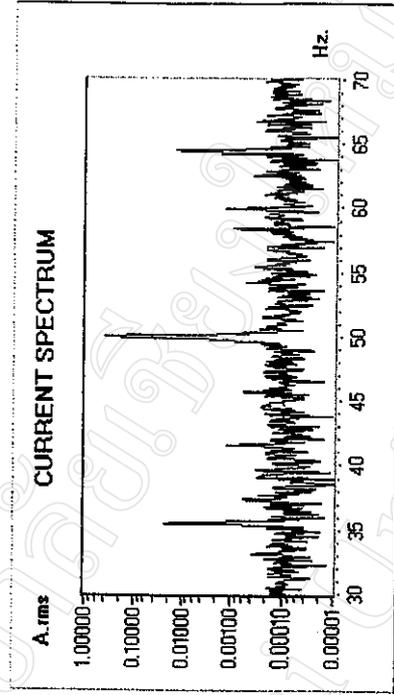
จากผลการตรวจวัดกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์ พบว่าเมื่อขดลวดสเตเตอร์ไม่เกิดการลัดวงจรจะมีค่ากระแสลำดับลบเพียงเล็กน้อย ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.12 คือมีค่า 0.0373 แอมป์ คิดเป็น 8.7 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์ ประมาณ 15 % ของขดลวดทั้งหมดค่ากระแสลำดับลบ จะเปลี่ยนแปลงไม่มากโดยเปลี่ยนแปลงจาก 0.4374 แอมป์ เป็น 0.4811 แอมป์ คิดเป็น 9.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระแสลำดับลบ จะเปลี่ยนแปลงมากจาก 0.0373 แอมป์ เป็น 0.2558 แอมป์ คิดเป็น 35.6 เปอร์เซ็นต์ ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.12

จากผลการตรวจวัดกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ พบว่าเมื่อขดลวดสเตเตอร์ไม่เกิดการลัดวงจรจะมีค่ากระแสลำดับลบเพียงเล็กน้อย ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.13 คือมีค่า 0.0327 แอมป์ คิดเป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์ ประมาณ 3 % ของขดลวดทั้งหมดค่ากระแสลำดับลบจะเปลี่ยนแปลงไม่มากโดยเปลี่ยนแปลงจาก 4.4305 แอมป์ เป็น 4.9503 แอมป์ คิดเป็น 10.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระแสลำดับลบ จะเปลี่ยนแปลงมากจาก 0.0327 แอมป์ เป็น 0.3599 แอมป์ คิดเป็น 1000 เปอร์เซ็นต์ ดังผลการตรวจวัดในรูปที่ 4.13



ก) ขณะไม่มีโหลด

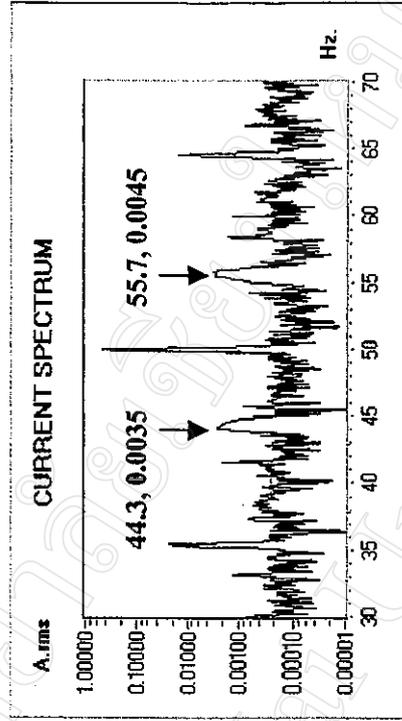
ความเร็วรอบ 1495 รอบต่อนาที



ข) ขณะมีโหลด

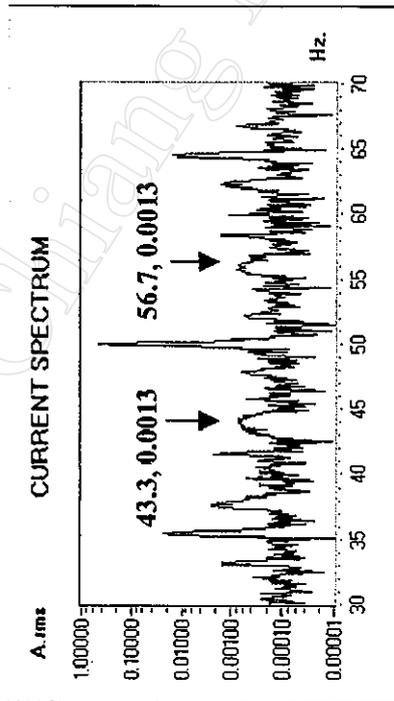
ความเร็วรอบ 1410 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อแก่งตัวนำโรเตอร์ปกติ



จ) หัก 4 แท่ง

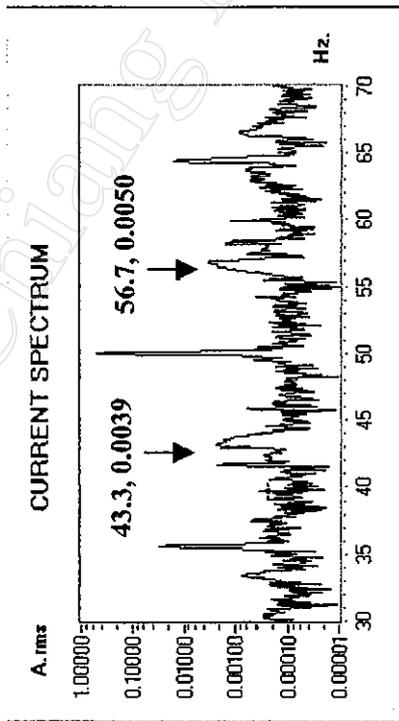
ความเร็วรอบ 1415 รอบต่อนาที



ก) หัก 2 แท่ง

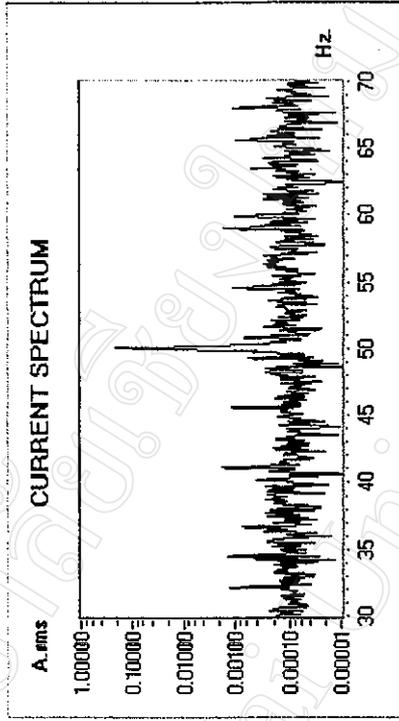
ความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อเพิ่มจำนวนโรเตอร์ที่ขณะมีโหลด



ก) ขณะมีโหลด

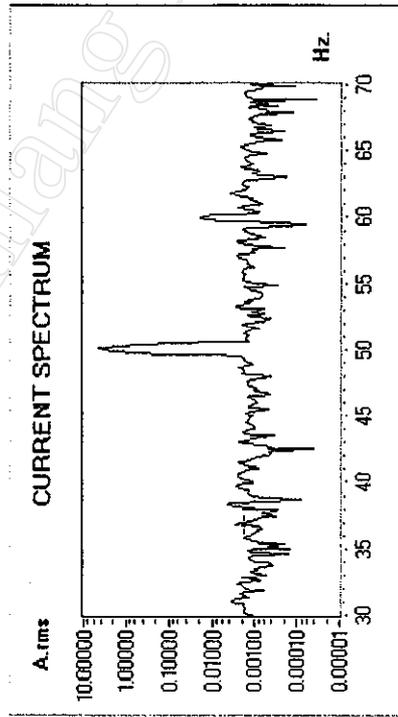
ความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที



ข) ขณะไม่มีโหลด

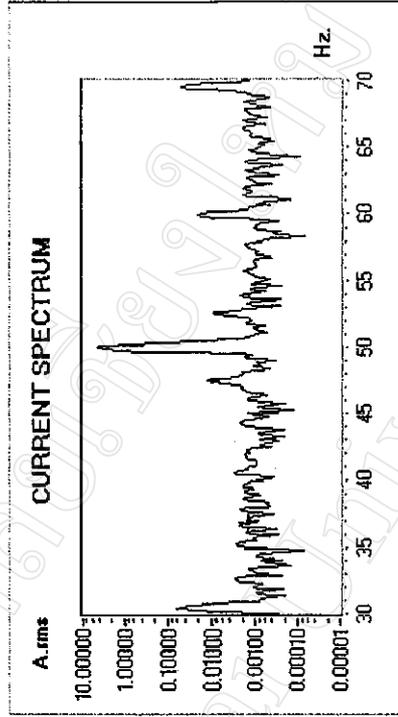
ความเร็วรอบ 1495 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อเร่งตัวนำโรเตอร์หัก 6 แฉง



ก) ขณะไม่มีโหลด

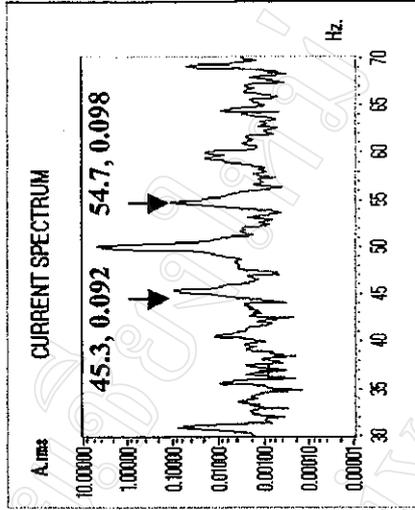
ความเร็วรอบ 1495 รอบต่อนาที



ข) ขณะมีโหลด

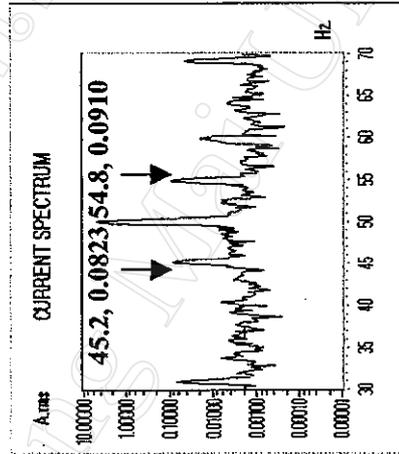
ความเร็วรอบ 1440 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อเพิ่มความเร็วรอบ



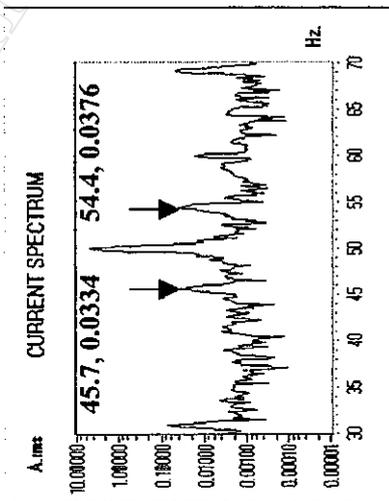
ก) หัก 2 เท่า

ความเร็วยรอบ 1435 รอบต่อนาที



ข) หัก 4 เท่า

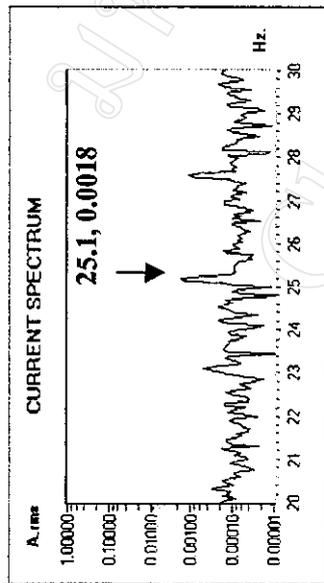
ความเร็วยรอบ 1430 รอบต่อนาที



ค) หัก 6 เท่า

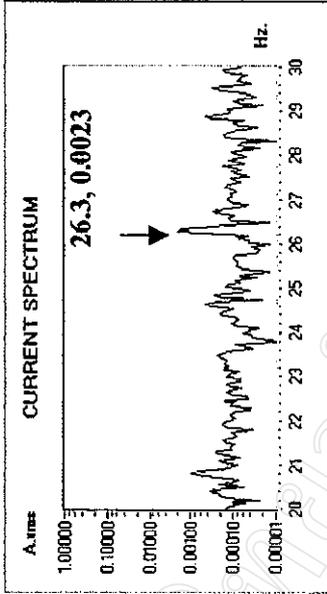
ความเร็วยรอบ 1430 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อแบ่งตัวนำโรเตอร์หักขณะมีโหลด



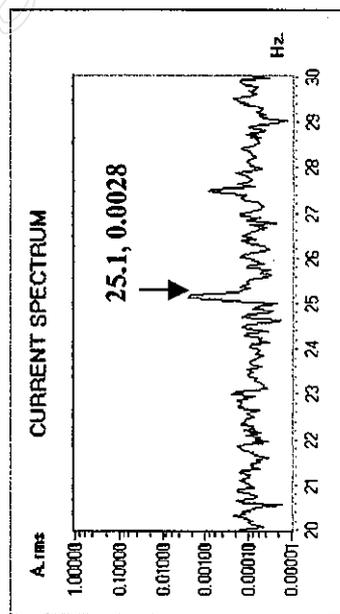
ก) แบริ่งปกติขณะไม่มีโหลด

ความเร็วรอบ 1495 รอบต่อนาที



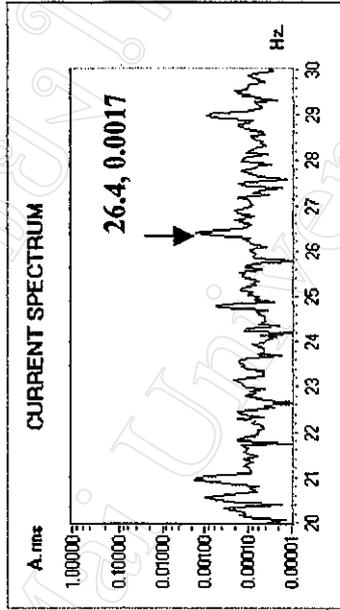
ข) แบริ่งปกติขณะมีโหลด

ความเร็วรอบ 1422 รอบต่อนาที



ค) แบริ่งชำรุดขณะไม่มีโหลด

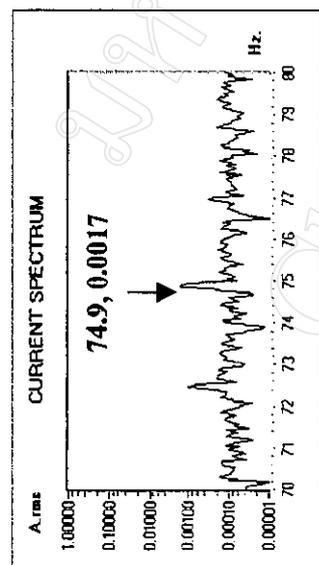
ความเร็วรอบ 1495 รอบต่อนาที



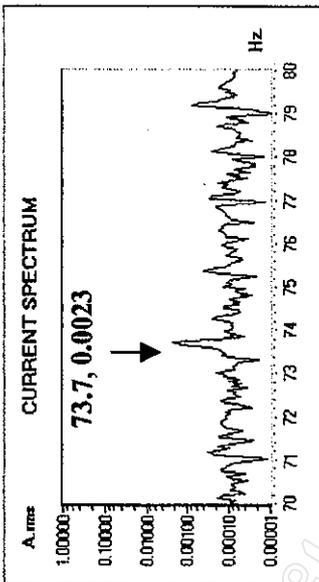
ง) แบริ่งชำรุดขณะมีโหลด

ความเร็วรอบ 1416 รอบต่อนาที

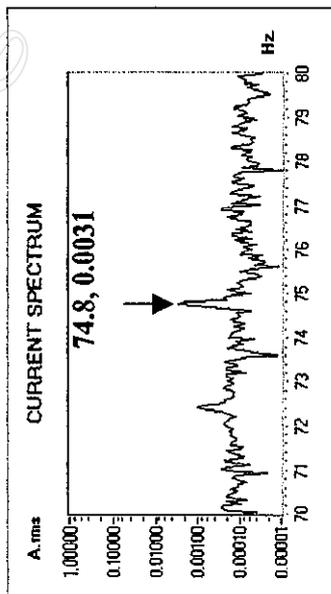
รูปที่ 4.8 สเปกตรัม Lower side band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อเบริ่งปกติและเบริ่งเสีย



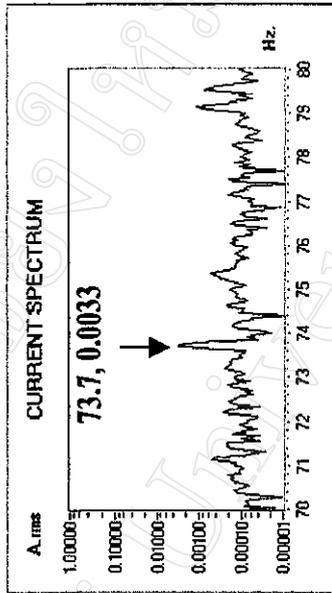
ก) แบริ่งปกติขณะไม่มีโหลด
 ความเร็วรอบ 1488 รอบต่อนาที



ข) แบริ่งปกติขณะมีโหลด
 ความเร็วรอบ 1422 รอบต่อนาที

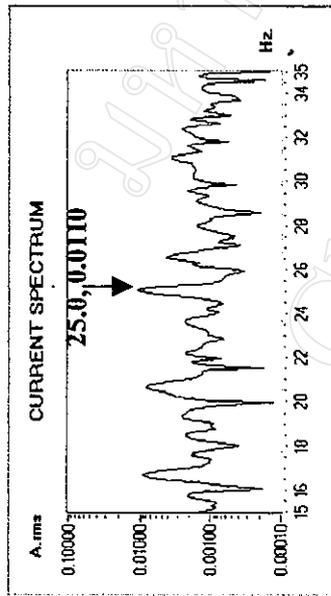


ค) แบริ่งชำรุดขณะไม่มีโหลด
 ความเร็วรอบ 1494 รอบต่อนาที



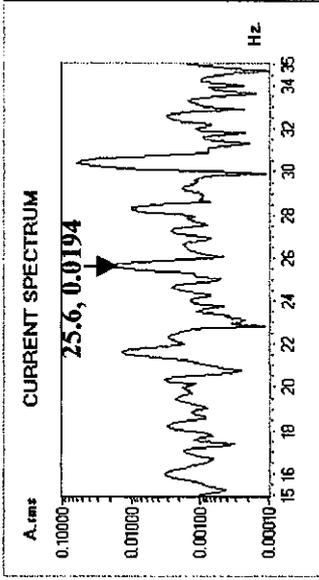
ง) แบริ่งชำรุดขณะมีโหลด
 ความเร็วรอบ 1422 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.9 สเปกตรัม Upper side-band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อแบบริ่งปกติและแบบริ่งเสีย



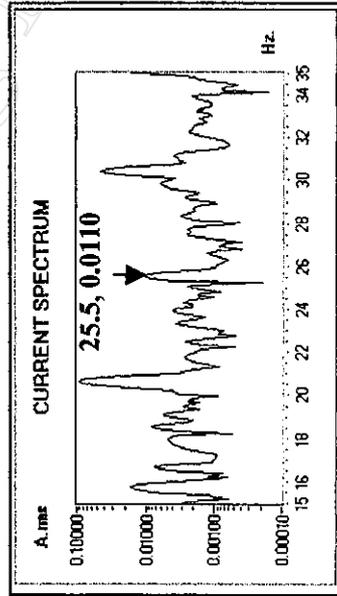
ก) แบร็งค์ปกติขณะไม่มีโหลด

ความเร็วรอบ 1498 รอบต่อนาที



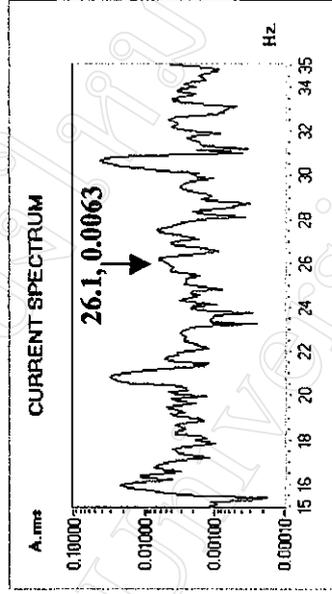
ข) แบร็งค์ปกติขณะมีโหลด

ความเร็วรอบ 1464 รอบต่อนาที



ค) แบร็งค์ผิดปกติขณะไม่มีโหลด

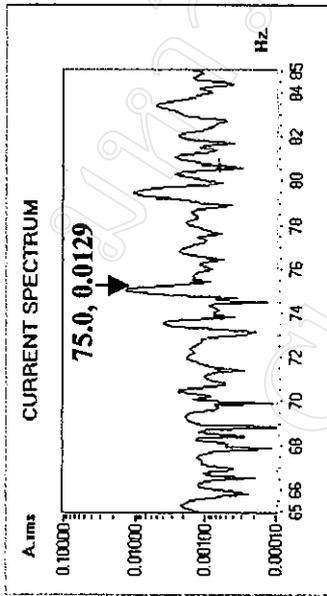
ความเร็วรอบ 1470 รอบต่อนาที



ช) แบร็งค์ผิดปกติขณะมีโหลด

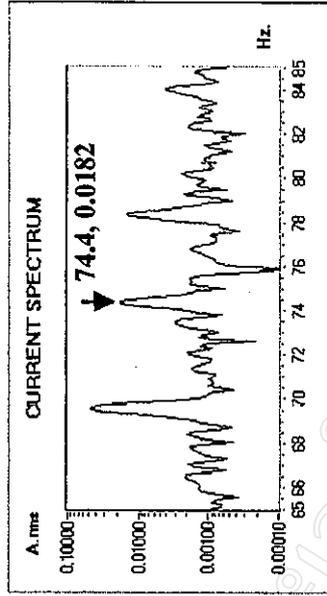
ความเร็วรอบ 1435 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.10 สเปกตรัม Lower side band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อแบร็งค์ปกติและแบร็งค์เสีย



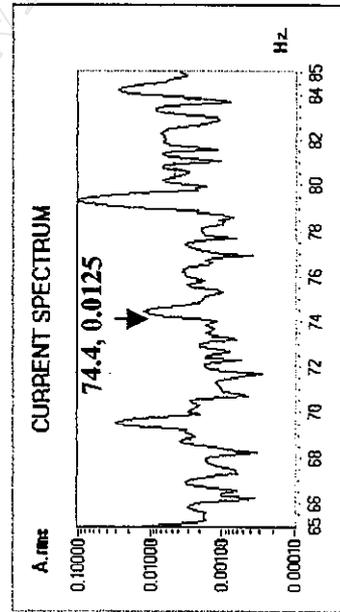
ก) แบร็งค์ปกติขณะไม่มีโหลด

ความเร็วรอบ 1498 รอบต่อนาที



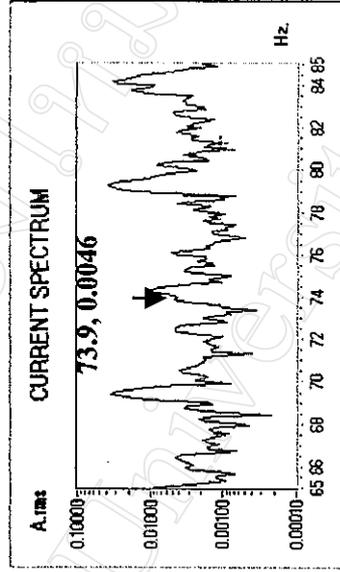
ข) แบร็งค์ปกติขณะมีโหลด

ความเร็วรอบ 1464 รอบต่อนาที



ค) แบร็งค์ปกติขณะไม่มีโหลด

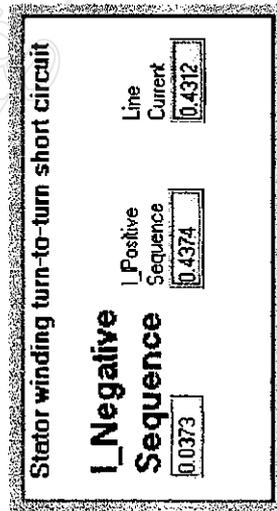
ความเร็วรอบ 1465 รอบต่อนาที



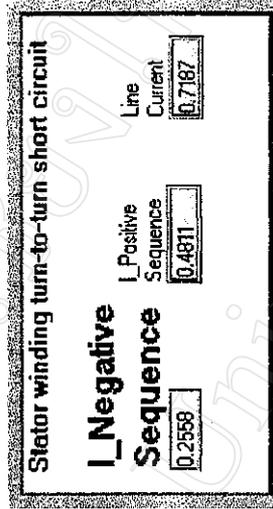
ง) แบร็งค์ปกติขณะมีโหลด

ความเร็วรอบ 1434 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.11 สเปกตรัม Upper side-band ของกระแสแฉงมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อแบร็งค์ปกติและแบร็งค์เสีย

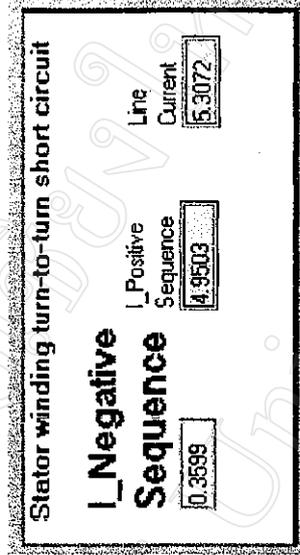


ก) ขดลวดเสตเตอร์ปกติ

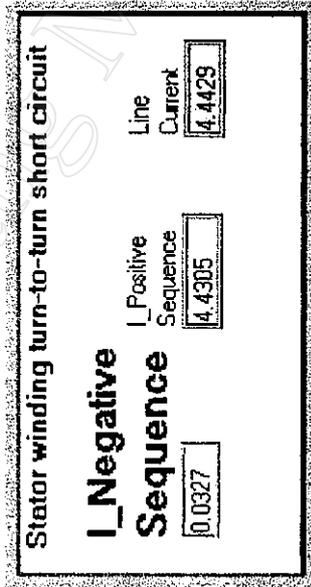


ข) ขดลวดเสตเตอร์ด้วงจร 15%

รูปที่ 4.12 ผลการคำนวณกระแสลำดับของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์



ข) ขดลวดสเตเตอร์ถ่วงจร 3%



ค) ขดลวดสเตเตอร์ปกติ

รูปที่ 4.13 ผลการคำนวณกระแสลำดับลบของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์