

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์  
**Motor Preventive Maintenance using Motor Current Spectrum Analysis**

นายวัลลภ บุญเพ็ญ  
นายภัทรธีระ จัยสิน

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
ปีการศึกษา 2555  
54EE203



รหัสโครงการ 54EE203

**การบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์**  
**Motor Preventive Maintenance using Motor Current Spectrum Analysis**

**บทคัดย่อ (Abstract)**

ในโครงการนี้ได้นำเสนอวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับมอเตอร์ด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแส โดยการนำสัญญาณกระแสในเทอมของเวลา มาแปลงด้วยฟูเรียร์ให้อยู่ในเทอมของความถี่ ซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับความถี่สัญญาณความถี่ต่ำที่ได้จะแสดงถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์ของมอเตอร์ ส่วนสัญญาณย่านความถี่สูงจะแสดงถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับสเตเตอร์และแบร์ริงในที่นี่ได้นำมาทำการทดสอบกับมอเตอร์ขนาด 45 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 6 ขั้ว ใช้สำหรับในการควบคุมปั้มน้ำมันและมอเตอร์ขนาด 11 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 2 ขั้ว ใช้สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์สัญญาณกระแสพบความผิดปกติเกิดขึ้นกับโรเตอร์ที่ความถี่ 48 และ 52.2 เฮิรตซ์ และความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบร์ริงของมอเตอร์ที่ความถี่ 150 เฮิรตซ์ และเมื่อมีการตรวจซ่อมก็พบว่าโรเตอร์ของมอเตอร์เกิดรอยแตกที่มุมของโรเตอร์จริงและแบร์ริงของมอเตอร์เกิดรอยที่วงแหวนด้านนอกเช่นกัน ซึ่งตรงกับผลการวิเคราะห์สัญญาณกระแสที่ได้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เนื่องมาจากความร่วมมือกันของเพื่อนในกลุ่มและได้รับคำแนะนำและการแนวทางการแก้ปัญหาจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท และได้รับความรู้ และอุปกรณ์ในการทดสอบจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม และ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จึงใคร่ขอขอบคุณทุกๆท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย สิ่งใดในโครงการนี้มีความผิดพลาดผู้จัดทำจะขอรับแต่เพียงผู้เดียว ส่วนความดีความชอบทั้งหลาย ผู้จัดทำขอมอบให้กับผู้สนับสนุนโครงการนี้ทุกๆท่าน

ผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 โครงสร้างของโครงการ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ของโครงการ	2
บทที่ 2 ความผิดพลาดในมอเตอร์และทฤษฎีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์	
2.1 ความผิดพลาดในมอเตอร์	4
2.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์	5
2.3 การวิเคราะห์ความผิดพลาดด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์	8
บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในและขั้นตอนในการทดสอบ	
3.1 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ	18
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	
4.1 ตัวอย่างการคำนวณความผิดพลาดของโรเตอร์	24
4.2 ตัวอย่างการคำนวณความผิดพลาดของสเตเตอร์	25
4.3 ตัวอย่างการคำนวณความผิดพลาดของแบร์ริง	26
4.4 ผลการทดสอบ	27

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดการวิเคราะห์และความผิดพลาดที่ตรวจได้	5
ตารางที่ 2.2 ยานความถี่ที่ใช้ในการหาความผิดพลาด	6

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์โดยใช้ MCSA	2
ภาพที่ 2.1 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในมอเตอร์	4
ภาพที่ 2.2 การแปลงฟูเรียร์	6
ภาพที่ 2.3 การวิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมกระแส	7
ภาพที่ 2.4 การแตกหักของแท่งตัวนำ	11
ภาพที่ 2.5 สัญญาณความถี่ที่มีความผิดปกติที่มอเตอร์	11
ภาพที่ 2.6 การเสียหายของขดลวดสเตเตอร์	13
ภาพที่ 2.7 สัญญาณความถี่ที่มีความผิดปกติที่สเตเตอร์	13
ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของแบร์ริง	14
ภาพที่ 2.9 ความเสียหายที่แบร์ริง	15
ภาพที่ 2.10 ขนาดและความถี่สัมพันธ์กับคุณสมบัติความถี่ของความผิดปกติ	16
ภาพที่ 2.11 สัญญาณความถี่ที่มีความผิดปกติที่แบร์ริง	17
ภาพที่ 3.1 หม้อแปลงกระแส	18
ภาพที่ 3.2 คุณสมบัติเฉพาะของหม้อแปลงกระแส	19
ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ	19
ภาพที่ 3.4 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องวัดความเร็วรอบ	20
ภาพที่ 3.5 ออสซิลโลสโคป	20
ภาพที่ 3.5 คุณสมบัติเฉพาะของออสซิลโลสโคป	21
ภาพที่ 3.4 มอเตอร์ควบคุมปั้มน้ำมัน	21
ภาพที่ 3.5 มอเตอร์ระบบบำบัดน้ำเสีย	22
ภาพที่ 3.6 การทดสอบหน้างาน	23
ภาพที่ 4.1 สัญญาณความถี่ของโรเตอร์ของมอเตอร์ปกติ	24
ภาพที่ 4.2 สัญญาณความถี่ของสเตเตอร์ของมอเตอร์ปกติ	25
ภาพที่ 4.3 สัญญาณความถี่ของแบร์ริงของมอเตอร์ปกติ	26
ภาพที่ 4.4 แสดงสัญญาณสเปกตรัมกระแสในการวิเคราะห์โรเตอร์	28
ภาพที่ 4.5 โรเตอร์ของมอเตอร์ที่มีปัญหา	28
ภาพที่ 4.6 แสดงสัญญาณสเปกตรัมกระแสในการวิเคราะห์แบร์ริง	29
ภาพที่ 4.7 แบร์ริงของมอเตอร์ที่มีปัญหา	30



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4.8 สัญญาณสเปกตรัมกระแสในการวิเคราะห์หลังเปลี่ยนแปรรูป

หน้า

30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของปัญหา

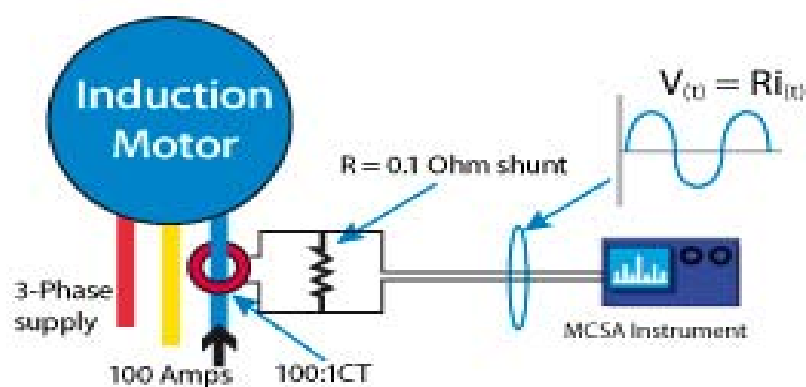
มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่มีใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นการบำรุงรักษามอเตอร์ จึงเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพและเวลาในการผลิต ส่งผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วในประเทศไทยอุตสาหกรรมจะใช้มอเตอร์ประมาณ 40% ถึง 50% ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นถ้าเกิดความผิดปกติขึ้นต่อมอเตอร์ จะส่งผลกระทบต่อการผลิตเป็นอย่างมาก ถ้าความผิดปกติต่อมอเตอร์ไม่รุนแรงก็อาจจะสามารถนำไปซ่อมแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถ้าความผิดปกติต่อมอเตอร์ถึงขั้นร้ายแรงก็อาจจะทำให้ต้องเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ ถึงแม้ว่าความผิดปกติต่อมอเตอร์จะไม่รุนแรง ก็จะส่งผลกระทบต่ออายุขัยของกระบวนการผลิตทั้งหมดไป และในบางกรณีความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์บางสาเหตุนั้นมาจากการเสียหายเพียงเล็กน้อยแล้วลุกลามเป็นปัญหาใหญ่ ดังนั้นถ้ามีการบอกเหตุล่วงหน้าได้ว่ามอเตอร์จะมีความผิดปกติเกิดขึ้น จะทำให้มีเวลาวางแผนเพื่อลดระยะเวลาในการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาให้น้อยที่สุด ในปัจจุบันที่นำมาใช้ตรวจสอบหรือวิเคราะห์ความเสียหายมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การตรวจวิเคราะห์ที่ต้องทำขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน (Off-Load Inspection) และ การตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน (On-Load Inspection) การตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงานนั้นเป็นที่นิยมมากกว่าเนื่องจากมีผลกระทบต่อระบบการผลิตน้อยกว่า โดยการตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงานนั้น สามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมและเป็นเรื่องใหม่ในประเทศไทยนั้นคือ การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์ (Motor Current Spectrum Analysis (MCSA))

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาความผิดปกติที่มีต่อมอเตอร์
2. เพื่อศึกษาวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์

## 1.3 โครงสร้างของโครงการ

โครงการนี้ได้ศึกษาวิธีการบำรุงเชิงป้องกันด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแส โดยแผนภาพของการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสจะแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์โดยใช้ MCSA

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. การวิเคราะห์ความผิดปกติของสเตเตอร์ของมอเตอร์ จากสเปกตรัมกระแส
2. การวิเคราะห์ความผิดปกติของโรเตอร์ของมอเตอร์ จากสเปกตรัมกระแส
3. การวิเคราะห์ความผิดปกติของร่องลื่น (แบร์ริง) ของมอเตอร์ จากสเปกตรัมกระแส

## 1.5 ประโยชน์ของโครงการ

1.สามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตจริง เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์ และลดผลกระทบต่อระบบการผลิต

2.ทำให้ระบบการผลิตมีประสิทธิภาพมาก โดยลดระยะเวลาในการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

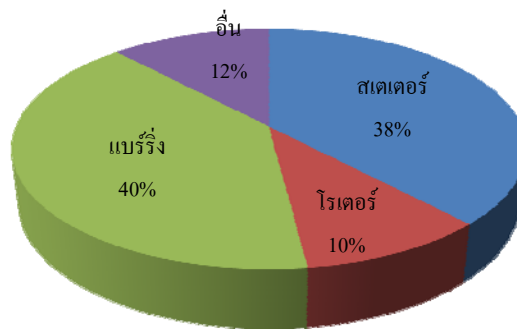
## บทที่ 2

### ความผิดปกติในมอเตอร์และทฤษฎีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์

#### 2.1 ความผิดปกติในมอเตอร์[1][2][3]

ปัจจุบันนี้มอเตอร์มีส่วนสำคัญมากในเครื่องจักรกลที่ใช้ภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วในประเทศอุตสาหกรรมจะใช้มอเตอร์ประมาณ 40% ถึง 50% ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นถ้าเกิดความผิดปกติที่มอเตอร์จะมีผลกระทบต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้า ทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าทั้งหมดหยุดทำงาน และจะส่งผลให้การผลิตในอุตสาหกรรมนั้นชะงัก จากงานวิจัยของหลายงานวิจัย[1]-[3] แสดงให้เห็นว่าความผิดปกติของอุปกรณ์ในมอเตอร์นั้น เกิดขึ้นจากความผิดปกติของ โรเตอร์, สเตเตอร์ และ แบร์ริง เป็นส่วนใหญ่ โดยอัตราส่วนความผิดปกตินั้นแสดงในภาพที่ 2.1

ความผิดปกติของมอเตอร์



ภาพที่ 2.1 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในมอเตอร์

โดยในปัจจุบันนี้การตรวจวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์นั้น สามารถทำได้ด้วยกัน 2 วิธี คือ การตรวจวิเคราะห์ที่ต้องทำขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน (Off-Load Inspection) และ การตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน (On-Load Inspection) ซึ่งการตรวจวิเคราะห์ที่ต้องทำขณะที่มอเตอร์หยุดทำงานนั้นจะต้องทำการชดเชยระบบการผลิตก่อน หรือ ต้องหาระบบสำรองมารองรับ

การผลิตก่อน ถึงจะสามารถนำเครื่องจักรไฟฟ้าตัวนั้นมาวิเคราะห์หาความผิดปกติ ซึ่งส่งผลทำให้การวิเคราะห์ในแต่ละครั้งมีระยะเวลานานและค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ต่างกับการตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน การตรวจวิเคราะห์แบบนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องชดาวน์ระบบการผลิตเพื่อนำเครื่องจักรกลไฟฟ้ามาตรวจวิเคราะห์ความผิดปกติ แต่จะสามารถวิเคราะห์ได้จาก การสั่นของมอเตอร์ (Vibration) อุณหภูมิ (Thermal) กระแสในมอเตอร์ (Current) และ เส้นแรงแม่เหล็ก มอเตอร์ (Magnetic flux) ซึ่งการวิเคราะห์แบบนี้จะมีผลกระทบต่อระบบการผลิตน้อยกว่า และมีข้อดีกว่าการตรวจวิเคราะห์ที่ต้องทำขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน เนื่องจากจะทำให้ทราบและทำนายถึงความผิดปกติที่จะเกิดกับมอเตอร์ได้ล่วงหน้า ทำให้สามารถประมาณเวลาในการซ่อมบำรุงและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง จากงานวิจัย [4] แสดงให้เห็นว่าการตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงานสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ถึงความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นได้ในมอเตอร์ ซึ่งแต่ละการวิเคราะห์นั้นจะสามารถตรวจวิเคราะห์ได้แตกต่างกัน โดยชนิดของการวิเคราะห์และความผิดปกติที่ตรวจได้สรุปในตารางที่ 2.1

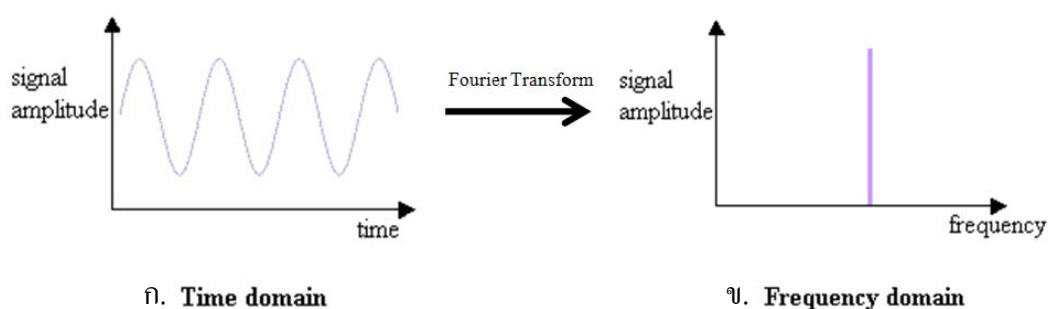
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดการวิเคราะห์และความผิดปกติที่ตรวจได้

ชนิดการวิเคราะห์	ความผิดปกติที่ตรวจได้		
	สเตเตอร์	โรเตอร์	แบร์ริง
การสั่นของมอเตอร์	ไม่ได้	ได้	ได้
อุณหภูมิของมอเตอร์	ได้	ได้	ไม่ได้
เส้นแรงแม่เหล็ก มอเตอร์	ได้	ได้	ไม่ได้
กระแสในมอเตอร์	ได้	ได้	ได้

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการตรวจวิเคราะห์กระแสในมอเตอร์นั้นมีความสามารถในการตรวจความผิดปกติของมอเตอร์ได้ทุกกรณีซึ่งเป็นการตรวจวัดด้วยวิธีการนี้จึงเป็นที่นิยมกันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยรายละเอียดของการตรวจวิเคราะห์แบบนี้จะกล่าวในบทต่อไป

## 2.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์[5]

การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์นี้มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Motor Current Spectrum Analysis โดยใช้ตัวย่อ MCSA โดยการวิเคราะห์แบบนี้ทำโดยการนำสัญญาณกระแสในรูปโดเมนเวลาแปลงด้วยกระบวนการแปลงฟูเรียร์(Fourier Transform) ให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ โดยวิธีการแปลงนั้นจะแสดงในภาพที่ 2.2 โดยภาพที่ 2.2 ก. แสดงสัญญาณกระแสในโดเมนเวลาและภาพที่ 2.2 ข. แสดงสัญญาณกระแสในโดเมนความถี่



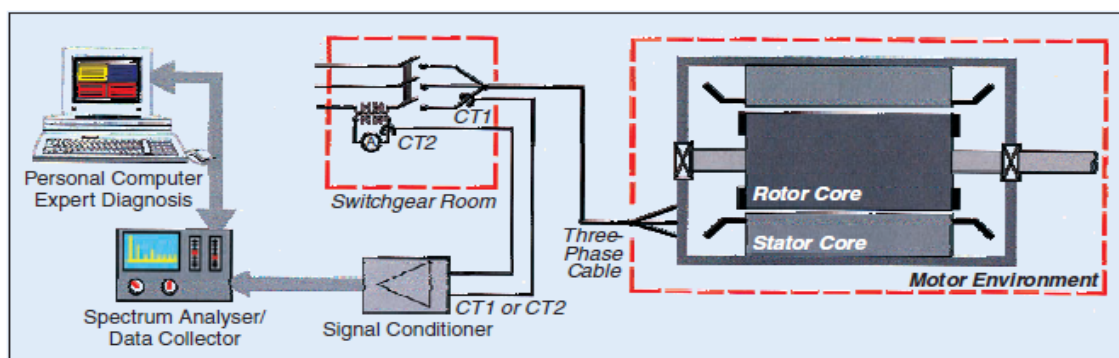
ภาพที่ 2.2 การแปลงฟูเรียร์

จากนั้นก็วิเคราะห์ถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นในโดเมนความถี่ ซึ่งความผิดปกติแต่ละชนิดก็จะมี การวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป โดยการวิเคราะห์นั้นยึดเอาความถี่ในการวิเคราะห์เป็นหลัก โดยในการ วิเคราะห์ย่านความถี่ต่ำนั้นสามารถใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของโรเตอร์ ส่วนย่านความถี่สูงนั้น สามารถใช้ในการ วิเคราะห์ความผิดปกติของสเตเตอร์และแบร์รี่ง โดยย่านความถี่และชนิดความผิด พยายามจะแสดงในตารางที่ 2.2

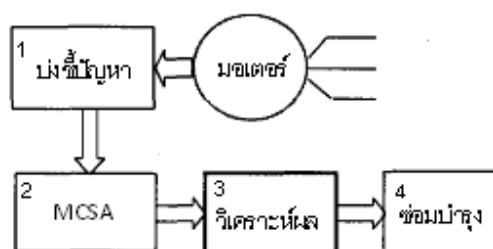
ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่ที่ใช้ในการหาความผิดปกติ

ย่านความถี่ต่ำ	ย่านความถี่สูง
ความผิดปกติของโรเตอร์	ความผิดปกติของสเตเตอร์ ความผิดปกติของแบร์รี่ง

โดยทั่วไปแล้ววิธีการวิเคราะห์แบบนี้จะทำโดยการนำหม้อแปลงกระแส (Current Transformer (CT)) ไปจับที่สายไฟของมอเตอร์ วัดค่ากระแสในรูปโดเมนเวลา จากนั้นก็แปลงฟูริเยร์ (Fourier Transform) ให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ แสดงค่าที่ได้ออกทางจอมอนิเตอร์ เก็บบันทึกข้อมูลความเปลี่ยนแปลงของความถี่ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความผิดปกติในมอเตอร์ที่เกิดขึ้น โดยวิธีการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.3 ก. โดยพื้นฐานวิธีการวิเคราะห์นั้นจะมีด้วยกัน 4 ขั้นตอนซึ่งแสดงในภาพที่ 2.3 ข. โดยการขั้นตอนที่ 1 การบ่งชี้ปัญหานั้น คือ การระบุหามอเตอร์ที่มีอาการผิดปกติ ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์นั้น คือ การนำข้อมูลที่ได้จากมอเตอร์ตัวที่คาดว่าจะมีปัญหา มาวิเคราะห์ตามทฤษฎี ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ผล คือ การนำผลที่ได้มาวิเคราะห์แล้วนำข้อมูลที่ไปลองตรวจจับค่ากระแสของมอเตอร์ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ ถ้ามีความผิดปกติก็จะดำเนินการในขั้นตอนที่ 4 คือ การซ่อมบำรุงมอเตอร์ตัวนั้น



ก. ระบบพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมกระแส



ข. ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมกระแส

ภาพที่ 2.3 การวิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมกระแส



จากการวิจัยของหลายงานวิจัยจะเห็นว่าความผิดปกติของมอเตอร์นั้นมาจากปัญหาจากตัวของอุปกรณ์ภายในมอเตอร์ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 1.1 ดังนั้นการที่จะเข้าใจถึงทฤษฎีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแส นั้นจะทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จริงด้วยระบบนี้ ทฤษฎีการตรวจวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสจะกล่าวในบทต่อไป

## 2.3 การวิเคราะห์ความผิดปกติด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์

จากที่หลายงานวิจัยได้วิจัยนั้นจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์ (MCSA) นั้นสามารถตรวจหาความผิดปกติของมอเตอร์ได้เกือบจะทุกประเภท จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในการตรวจหาความผิดปกติของโรงงานอุตสาหกรรมในต่างประเทศ ในบทนี้จะกล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติและทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์โดยจะกล่าวถึงเพียงแก่ความผิดปกติที่พบมากที่สุด 3 ชนิด

### 2.3.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติ

โดยทั่วไปแล้วความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้มอเตอร์เกิดความเสียหายขึ้นไม่ช้าก็เร็ว โดยส่วนมากนั้นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกตินั้นมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในตัวมอเตอร์และการเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กเป็นส่วนใหญ่ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดความผิดปกติในโรเตอร์สเตเตอร์และแบร์ริง

#### - สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติในโรเตอร์

โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดปกติที่โรเตอร์นั้นส่วนใหญ่มาจากสาเหตุ

- การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในโรเตอร์เนื่องจากการเกิดสภาวะไม่สมดุลของโหลด
- การเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กในโรเตอร์
- ปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่การผลิต
- การเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ เช่น ความชื้น
- การผิดปกติเนื่องจากส่วนอื่นๆ เช่น ความผิดปกติของแบร์ริง

โดยสาเหตุเหล่านี้จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์ตัวนี้เกิดความผิดปกติขึ้นได้ ซึ่งทฤษฎีวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสกล่าวในหัวข้อถัดไป

#### - สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติในสเตเตอร์

โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดปกติที่สเตเตอร์นั้นส่วนใหญ่มาจากสาเหตุความผิดปกติของฉนวนป้องกันที่เกิดจากสาเหตุ

- การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นของขดลวดสเตเตอร์
- เกิดความชื้นหรือมีสิ่งสกปรกที่ขดลวดสเตเตอร์
- เกิดการลัดวงจรที่ขดลวดสเตเตอร์
- การรั่วไหลของระบบหล่อเย็น

โดยสาเหตุเหล่านี้จะทำให้สเตเตอร์ของมอเตอร์ตัวนี้เกิดความผิดปกติขึ้นได้ ซึ่งทฤษฎีวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสกล่าวในหัวข้อถัดไป

#### - สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติในแบร์ริง

โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดปกติที่แบร์ริงนั้นส่วนใหญ่มาจากสาเหตุการติดตั้งแบร์ริงไม่ดีหรือแบร์ริงเสียหายเนื่องจากสาเหตุ

- การปนเปื้อนหรือการสึกกร่อนของลูกกลิ้ง
- การติดตั้งที่ไม่เหมาะสมทั้งในการใส่น้ำมันหล่อลื่นและการวางแบร์ริงไม่สมดุล

โดยสาเหตุเหล่านี้จะทำให้แบร์ริงของมอเตอร์ตัวนี้เกิดความผิดปกติขึ้นได้ ซึ่งทฤษฎีวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสกล่าวในหัวข้อถัดไป

### 2.3.2 สมการสัญญาณกระแสของมอเตอร์

ในการวัดกระแสสัญญาณของมอเตอร์นั้นโดยปกติจะได้สัญญาณที่อยู่ในรูปโดเมนเวลาก่อนนำค่าสัญญาณนั้นไปแปลงให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ โดยปกติสมการสัญญาณกระแสของมอเตอร์ที่มีสภาพปกตินี้จะแสดงในสมการที่ 2.1

$$i(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t) \quad (2.1)$$

โดย  $I$  คือค่า “rms” ของกระแส และ  $\omega$  คือค่าความถี่ของแหล่งจ่ายในหน่วยเรเดียนต่อวินาที จากสมการจะเห็นค่าของกระแสจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อมีความผิดพร่องเกิดขึ้นที่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเกิดค่าสัญญาณกระแสที่ทำให้สัญญาณกระแสปกติเกิดการแกว่งขึ้น โดยสัญญาณกระแสของมอเตอร์ที่มีความผิดพร่องนั้นจะแสดงในสมการที่ 2.2

$$i(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t) + \sqrt{2}I_l \cos((\omega - \omega_{osc})t - \phi_l) + \sqrt{2}I_r \cos((\omega - \omega_{osc})t - \phi_r) \quad (2.2)$$

โดย  $I_l$  คือค่า “rms” ของกระแสในส่วนด้านล่าง (lower side),  $I_r$  คือค่า “rms” ของกระแสในส่วนด้านบน (upper side),  $\omega_{osc}$  คือความถี่การแกว่งที่เกิดขึ้นและ  $\phi_l, \phi_r$  คือค่าของส่วนประกอบของมุม displacement จากสมการที่สองจะเห็นว่าเมื่อมีการนำสัญญาณกระแสของมอเตอร์ที่มีความผิดพร่องที่โรเตอร์นั้นไปแปลงสัญญาณในอยู่ในรูปโดเมนความถี่จะทำให้มีค่าเกิดขึ้น 2 ค่า บริเวณแถวค่าความถี่ของแหล่งจ่าย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ที่มีความผิดพร่องที่โรเตอร์จะมีกระแสสัญญาณที่ผิดปกติไปส่วนในความผิดพร่องที่เหลือนั้น เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นจะทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกขึ้น โดยในการวิเคราะห์กระแสของความผิดพร่องที่เหลือจะให้ค่าความถี่ฮาร์มอนิกในการตรวจสอบความผิดพร่องนั้นๆ โดยการคำนวณหาความถี่ของแต่ละความผิดพร่องจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

### 2.3.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของแต่ละความผิดพร่อง[5][6][9]

#### - ความผิดพร่องของโรเตอร์

โดยทั่วไปแล้วโรเตอร์นั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากในมอเตอร์ทุกประเภท ดังนั้นถ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นที่โรเตอร์ก็จะส่งทำให้มอเตอร์ทำงานผิดปกติ ความผิดพร่องของโรเตอร์เกิดจากการแตกของแท่งตัวนำโรเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์จะไม่ส่งผลกระทบต่อแรงในทันที แต่เมื่อมีการใช้ไปในอนาคตนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อแรงขึ้น เช่น การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง ซึ่งตัวนำโรเตอร์ที่ผิดพร่องจะส่งผลทำให้เกิดความร้อนสูงและความเครียดทางกล การแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์นั้นจะแสดงในภาพที่ 2.4

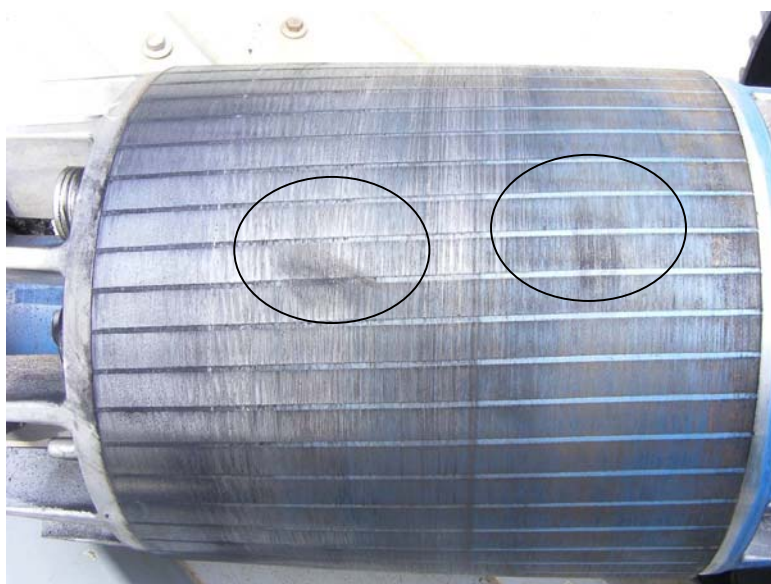
ดังนั้นถ้าสามารถตรวจหาความผิดพร่องของโรเตอร์ได้ก่อน ก็จะส่งผลทำให้สามารถแก้ไขและลดอัตราการเกิดปัญหาที่รุนแรง โดยปกติแล้วเมื่อมีการแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์ขึ้นจะส่งผลทำให้

เกิดค่า ขึ้น 2 ค่าที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับความถี่มูลฐานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ความถี่ทั้ง 2 ค่านี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$f_{sb} = f_1(1 \pm 2s) \quad (2.3)$$

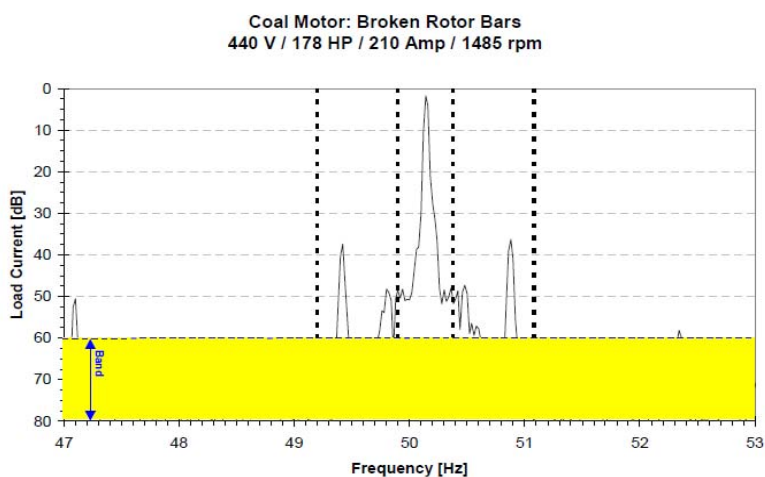
จากสมการนี้  $f_{sb}$  คือค่าความถี่ที่เกิด  $f_1$  คือความถี่ของแหล่งจ่าย และ  $s$  คือค่าของสลิปที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.4)$$



ภาพที่ 2.4 การแตกหักของแท่งตัวนำ

โดยจากสมการนี้  $n_s$  คือความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ และ  $n_r$  คือความเร็วของโรเตอร์ จากภาพที่ 2.5 จะแสดงให้เห็นว่าเกิดความผิดพร่องขึ้นที่โรเตอร์โดยวิธีการคำนวณจะแสดงในบทต่อไป



ภาพที่ 2.5 สัญญาณความถี่ที่มีความผิดปกติของมอเตอร์

#### - ความผิดปกติของสเตเตอร์

สเตเตอร์ก็เป็นอีกส่วนประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วความผิดปกติที่เกิดจากสเตเตอร์นั้นอาจจะมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดระหว่างกระบวนการผลิตมอเตอร์ ความไม่เหมาะสมของการใช้งาน การระบายอากาศไม่พอและอื่นๆ เมื่อเกิดความผิดปกติที่สเตเตอร์จะทำให้เกิดความเครียดทางความร้อนมากขึ้น ส่งผลกระทบทำให้เกิดความผิดปกติชนิดอื่นๆ ตามมา โดยทั่วไปแล้วความผิดปกติของสเตเตอร์มาจากการลัดวงจรกันของขดลวดโดยสามารถแบ่งจุดที่เกิดการลัดวงจรได้เป็น

1. ขดลวดลัดวงจรในชุดเดียวกัน
2. ขดลวดลัดวงจรในเฟสเดียวกัน
3. ขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส
4. ขดลวดลัดวงจรลงกราวด์
5. ขดลวดเปิดวงจรหนึ่งเฟส

การเสียหายของของสเตเตอร์นั้นจะแสดงในภาพที่ 2.6 โดยเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่จะส่งผลทำให้เกิดความถี่ฮาร์โมนิกในสัญญาณความถี่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$f_{st} = f_1 \left[ \frac{n}{p}(1-s) \pm k \right] \quad (2.5)$$

โดย  $f_{st}$  คือความถี่ที่เกิดขึ้น  $f_1$  คือ คือความถี่ของแหล่งจ่าย  $s$  คือค่าของสลิป  $p$  คือจำนวนคู่ของขั้ว  $k$  คือ ลำดับของความถี่ฮาร์โมนิก มีค่าเท่ากับ 1,3,5,... และ  $n$  คือ 1, 2, 3,... เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่สเตเตอร์จะแสดงให้เห็นความถี่ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 การเสียหายของขดลวดสเตเตอร์

โดยวิธีการคำนวณหาความถี่ฮาร์โมนิกนั้นจะแสดงในบทต่อไป

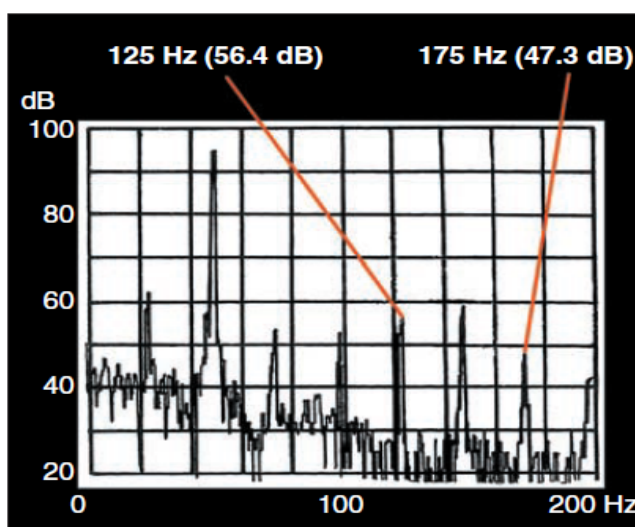
#### - ความผิดปกติของแบร์ริง

โดยทั่วไปแล้วแบร์ริงจะประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ

1. วงแหวนด้านนอก (Outer ring)(หมายเลข 5)
2. วงแหวนด้านใน (Inner ring) (หมายเลข 1)
3. ลูกกลิ้ง (Ball)(หมายเลข 4)
4. กรงหรือรัง (Cage)(หมายเลข 2)
5. รางลูกกลิ้ง(หมายเลข 3)

โดยส่วนประกอบของแบร์ริงจะแสดงในภาพที่ 2.8 การผิดปกติของแบร์ริงนั้นเกิดจากการสึกหรอ เนื่องจากสภาพแวดล้อมในการทำงานไม่เหมาะสม เช่น จาระบีเสื่อมสภาพ มีเหงื่อ และอื่นๆ จะส่งผลทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นที่แบร์ริง โดยทั่วไปแล้วความผิดปกติของแบร์ริงแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

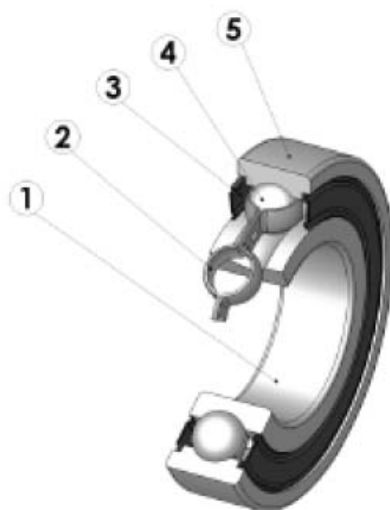
1. ความผิดปกติที่เกิดที่ทรง
2. ความผิดปกติที่เกิดที่วงแหวนด้านนอก
3. ความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่วงแหวนด้านใน
4. ความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่ลูกกลิ้ง



ภาพที่ 2.7 สัญญาณความถี่ที่มีความผิดปกติที่สเตเตอร์

โดยแต่ละความผิดปกติก็จะให้ความถี่ที่แตกต่างกันไปโดยวิธีการคำนวณก็จะแตกต่างกันออกไปในภาพที่ 2.9 นั้นได้แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นที่แบร์ริง

การคำนวณหาความถี่ที่เกิดจากความผิดปกติของแบร์ริงนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6 ถึง 2.9 โดยสมการที่ 2.6 นั้นใช้ในการคำนวณหาความผิดปกติที่ทรง สมการที่ 2.7 ใช้ในการคำนวณหาความผิดปกติที่วงแหวนด้านนอก สมการที่ 2.8 ใช้ในการคำนวณหาความผิดปกติที่วงแหวนด้านใน และ สมการที่ 2.9 ใช้ในการคำนวณความถี่ความผิดปกติที่เกิดกับลูกกลิ้ง



ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของแบริ่ง



ภาพที่ 2.9 ความเสียหายที่แบริ่ง

$$f_{CF} = \frac{1}{2} f_r \left[ 1 - \frac{D_B}{D_P} \cos \theta \right] \quad (2.6)$$

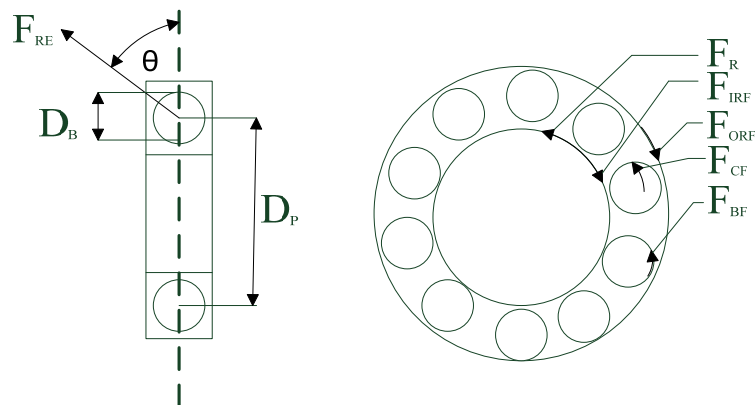


$$f_{ORF} = \frac{N_B}{2} f_r \left[ 1 - \frac{D_B \cos \theta}{D_P} \right] \quad (2.7)$$

$$f_{IRF} = \frac{N_B}{2} f_r \left[ 1 + \frac{D_B \cos \theta}{D_P} \right] \quad (2.8)$$

$$f_{IRF} = \frac{D_P}{2D_B} f_r \left[ 1 + \left( \frac{D_B \cos \theta}{D_P} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

โดย  $f_r$  คือความถี่ของโรเตอร์  $N_B$  คือจำนวนลูกกลิ้ง  $D_B$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้ง  $D_P$  คือระยะห่างของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง และ  $\theta$  คือมุมสัมผัสของลูกกลิ้ง ซึ่งมุมนี้จะหาได้ตามในภาพที่ 2.10

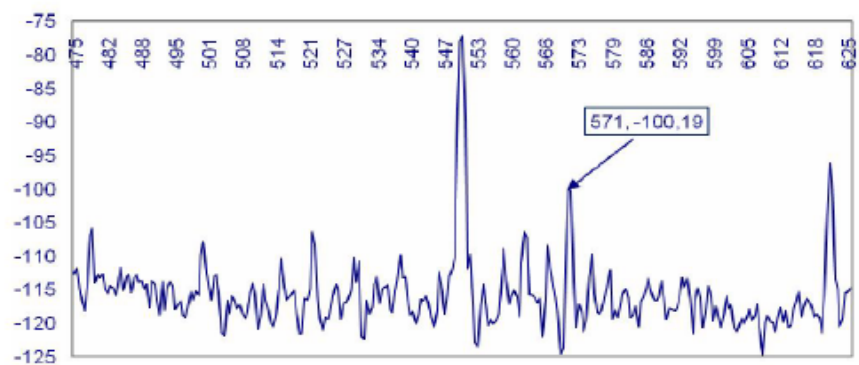


ภาพที่ 2.10 ขนาดและความถี่สัมพันธ์กับคุณสมบัติความถี่ของความผิดพลาด

เมื่อทำการคำนวณความถี่ความผิดพลาดแล้ว ความถี่ฮาร์มอนิกรวมที่จะเกิดขึ้นนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.10

$$f_{BNG} = |f_1 \pm m \times f_v| \quad (2.10)$$

โดย  $f_1$  คือความถี่ของแหล่งจ่าย  $f_v$  คือความถี่ของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจาก 1 ใน 4 ชนิด และ  $m$  คือ 1, 2, 3, ... เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นที่สเตเตอร์จะแสดงให้เห็นความถี่ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงใน ภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 สัญญาณความถี่ที่มีความผิดพร่องที่แบร์ริง

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ

#### 3.1 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ

จากการที่ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์หม้อเตอร์ด้วยสเปกตรัมกระแสในขั้นตอนต่อไปจะได้มีการแสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อวัดค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติทั้ง 3 ชนิด โดยจะทำการวัดในหม้อเตอร์ที่มีขนาด 380volt หม้อเตอร์กระแสลับซึ่งเป็นหม้อเตอร์แรงดันต่ำและขั้นตอนการทำการทดสอบ

##### 3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

อุปกรณ์โดยทั่วไปนั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยที่อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบด้วย หม้อแปลงกระแส (Current Transformer), เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) และ ออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.1-3.3

- หม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแสเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงกระแสสูงค่าหนึ่ง เป็นกระแสอีกค่าหนึ่งที่ต่ำลงเพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำค่ากระแสนี้ไป โดยใช้หลักการElectromagnetic induction ซึ่งแสดงในภาพที่ 3.1 โดยข้อจำกัดของหม้อแปลงกระแสแสดงไว้ในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 หม้อแปลงกระแส

Series	Model	Input				Output / Connections				Specific features				To Order	Page (2)				
		Measuring scope <sup>(1)</sup>	Very weak current	Weak current	Medium current	Strong current	~ AC	∴ DC	Current	Voltage	Lead + Ø 4 mm safety connectors <sup>(2)</sup>	Ø 4 mm female sockets	BNC connector (coaxial)			Transformation ratio (input/ output)	Output protected against voltage surges	Automatic DC zero	Measurement of power (slight phase shift)
	C100	0.1...1200 A	●	●	●	●	●	1 A AC	●	●	●	1000/1	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.5%	P01.1203.01	4.01
	C102	0.1...1200 A	●	●	●	●	●	1 A AC	●	●	●	1000/1	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.5%	P01.1203.02	4.02
	C103	0.1...1200 A	●	●	●	●	●	1 A AC	●	●	●	1000/1	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.5%	P01.1203.03	4.02
	C106	0.1...1200 A	●	●	●	●	●		1 V AC	●	●	1 A/1 mV	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.5%	P01.1203.04	4.03
	C107	0.1...1200 A	●	●	●	●	●		1 V AC	●	●	1 A/1 mV	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.5%	P01.1203.05	4.03
	C112	1 mA...1200 A	●	●	●	●	●	1 A AC	●	●	●	1000/1	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.3%	P01.1203.14	4.04
	C113	1 mA...1200 A	●	●	●	●	●	1 A AC	●	●	●	1000/1	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.3%	P01.1203.15	4.04
	C116	1 mA...1200 A	●	●	●	●	●		1 V AC	●	●	1 A/1 mV	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.3%	P01.1203.16	4.05
	C117	1 mA...1200 A	●	●	●	●	●		1 V AC	●	●	1 A/1 mV	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 0.3%	P01.1203.17	4.05
	C122	1...1200 A	●	●	●	●	●	5 A AC	●	●	●	1000/5	●	●	●	30 Hz..10 kHz	≤ 1%	P01.1203.06	4.06
	C148	1...300 A 1...600 A 1...1200 A	●	●	●	●	●	5 A AC	●	●	●	250/5 500/5 1000/5	●	●	●	48 Hz..1 kHz	≤ 2% ≤ 1% ≤ 1%	P01.1203.07	4.07
	C160	0.1...30 A peak 0.1...300 A peak 1...2000 A peak	●	●	●	●	●		3 V peak 3 V peak 2 V peak	●	●	10 A/1 V 100 A/1 V 1000 A/1 V	●	●	●	10 Hz..100 kHz	≤ 3% ≤ 2% ≤ 1%	P01.1203.08	4.08
	C173	1 mA...12 A 0.01...12 A 0.1...120 A 1...1200 A	●	●	●	●	●		1 V AC	●	●	1 A/1 V 10 A/1 V 100 A/1 V 1000 A/1 V	●	●	●	10 Hz..3 kHz	≤ 0.7% ≤ 0.5% ≤ 0.3% ≤ 0.2%	P01.1203.09	4.09

ภาพที่ 3.2 คุณสมบัติเฉพาะของหม้อแปลงกระแส

- เครื่องวัดความเร็วรอบ

เครื่องวัดความเร็วรอบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการหมุนของโรเตอร์ในมอเตอร์โดยปกติแล้วจะแสดงผลอยู่ในรูปของจำนวนรอบต่อนาที (rpm) หลักการทำงานคืออาศัยหลักการตรวจจับสัญญาณพัลส์ที่มีการส่งออกมาเมื่อมีการหมุนครบรอบในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งแสดงในภาพที่ 3.3 โดยข้อจำกัดของเครื่องวัดความเร็วรอบแสดงไว้ในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ

PLT200 SPECIFICATIONS	
Display:	5 digit alpha-numeric LCD
Optical Range:	5 to 200,000 RPM
Contact Range*:	0.5 to 20,000 RPM (other ranges: inches, yds, miles, cm, m per hour or per second)
Optical Accuracy:	±0.01% of reading
Contact Accuracy*:	±0.05% of reading (RPM)
Resolution:	0.001 to 10 RPM (range dependent)
Operating Range:	2 inches to 25 feet
Light Source:	Class 3R visible laser
Memory:	Maximum, Minimum and Last
Power:	(2) AA batteries
Environmental:	5° to 40°C (0° to 100°F) 80% RH up to 31°C (88°F)
Dimensions:	6.92 "H x 2.4"W x 1.6"D
Weight:	7 oz. (210 g)

\* with optional Remote Contact Assembly (RCA).

ภาพที่ 3.4 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องวัดความเร็วรอบ

#### - ออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ออกมาเป็นภาพ ปราบกฎบนจอหลอดภาพให้เห็นได้ในที่นี้สัญญาณกระแสที่แสดงออกมานั้นอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ หลักการทำงาน คือ การบังคับการขยับเบนของลำอิเล็กตรอนภายในหลอดภาพรังสีแคโทด (Cathode ray tube) ด้วยระบบการขยับเบนทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic deflection) เพื่อทำให้เกิดรูปของสัญญาณซึ่งแสดงในภาพที่ 3.4 โดยข้อจำกัดของออสซิลโลสโคปแสดงไว้ในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 ออสซิลโลสโคป

Number of input channels:	4 (DL1540/DL1540L); 2 (DL1520/DL1520L)
Vertical resolution:	8 bits (normal) (25LSB/div) 9 bits (smoothing) 12 bits (after averaging with 256 weight)
Max sampling rate:	
Normal	200 MS/s (when half of the number of available channels are in use) 100 MS/s (when all channels are in use) Equivalent time 20 GS/s
Effective storage frequency (-3 dB):	
Repetitive waveform	DC to 150 MHz *1
Single shot waveform	DC to 80 MHz *2 (When half of the number of available channels are in use) DC to 40 MHz *2 (When all channels are in use)
Sensitivity:	1 mV/div *3 to 5 V/div (DL1540/DL1540L) 2 mV/div to 5 V/div (DL1520/DL1520L)
DC accuracy **:	100 mV/div ±(1.5% of 8 div + 1 LSB) 1 mV/div ±(5% of 8 div + 1 LSB) Other ranges ±(2.5% of 8 div + 1 LSB)
Offset voltage accuracy:	1 m to 50 mV/div ±(2.5% of set value + 0.2 mV) 100 m to 500 mV/div ±(1% of set value + 2 mV) 1 to 5 V/div ±(2.5% of set value + 20 mV)
Interchannel isolation:	-40 dB (typical value *5 in the same range)
Max input voltage:	250 V (DC + AC peak) (1 kHz max) (CAT I & II, 177 Vrms)
Input impedance:	1 MΩ ± 1.5% (approx. 25 pF)
Input coupling:	AC/DC/GND

ภาพที่ 3.5 คุณสมบัติเฉพาะของออสซิลโลสโคป

### 3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนในการทดสอบนี้ไปทำการทดสอบตามภาพที่ 2.3 (a) โดยได้ทำการทดสอบกับมอเตอร์แรงดันต่ำ 2 ตัว คือ มอเตอร์ขนาด 45 kW 380 volt 6 poles ใช้สำหรับการควบคุมปั้มน้ำมัน(Control oil motor) และมอเตอร์ขนาด 11 kW 380 volt 2 poles ใช้สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย(Degasified motor) ซึ่งแสดงในภาพที่ 3.6-3.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.6 มอเตอร์ควบคุมปั้มน้ำมัน



ภาพที่ 3.7 มอเตอร์ระบบบำบัดน้ำเสีย

โดยการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบ่อยทั้ง 3 ความผิดพร่อง คือ ความผิดพร่องของโรเตอร์ ความผิดพร่องของแบร์ริง และ ความผิดพร่องของสเตเตอร์ โดยการนำหม้อแปลงกระแสไปคล้องจับกระแสที่ได้จากมอเตอร์ โดยรูปที่แสดงการทดสอบหน้างานจริงแสดงในภาพที่ 3.8 โดยภาพที่ 3.8 ก. แสดงภาพการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อนำมาคำนวณหาค่าสลิปของมอเตอร์ ภาพที่ 3.8 ข. แสดงการใช้หม้อแปลงกระแสไปคล้องที่สายไฟที่เข้ามอเตอร์เพื่อวัดกระแส ภาพที่ 3.8 ค. แสดงการนำกระแสของมอเตอร์ที่ได้ต่อเข้าออสซิลโลสโคปเพื่อแปลงจากสัญญาณโดเมนเวลาเป็นสัญญาณโดเมนความถี่ ภาพที่ 3.8 ง. แสดงการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากมอเตอร์



ก. วัดความเร็วรอบของมอเตอร์



ข. วัดกระแสจากมอเตอร์



ค. วัดสัญญาณความถี่จากกระแสของมอเตอร์



ง. วิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับ

ภาพที่ 3.8 การทดสอบหน้างาน

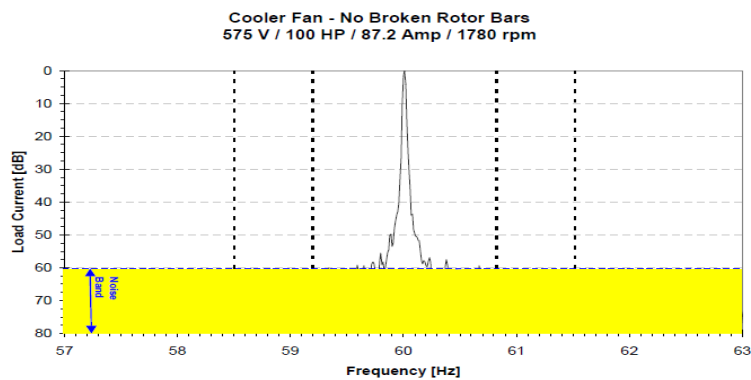


## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 ตัวอย่างการคำนวณความผิดปร้องของโรเตอร์[5]

จากผลการศึกษาความบกพร่องของโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่โรเตอร์ไม่มีความผิดปกติ นั้น สัญญาณความถี่จะไม่มีค่าเกิดขึ้นที่สองความถี่ใกล้เคียงความถี่ของแหล่งจ่ายซึ่งจะแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 สัญญาณความถี่ของโรเตอร์ของมอเตอร์ปกติ

ดังนั้นภาพที่ 2.5 นั้นมอเตอร์มีความผิดปกติที่โรเตอร์จะสามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้ โดนต์ มอเตอร์มี 4 poles

1. ความเร็วซิงโครนัส

$$n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

2. สลิป

$$s = \frac{1500 - 1485}{1500} = 0.01$$

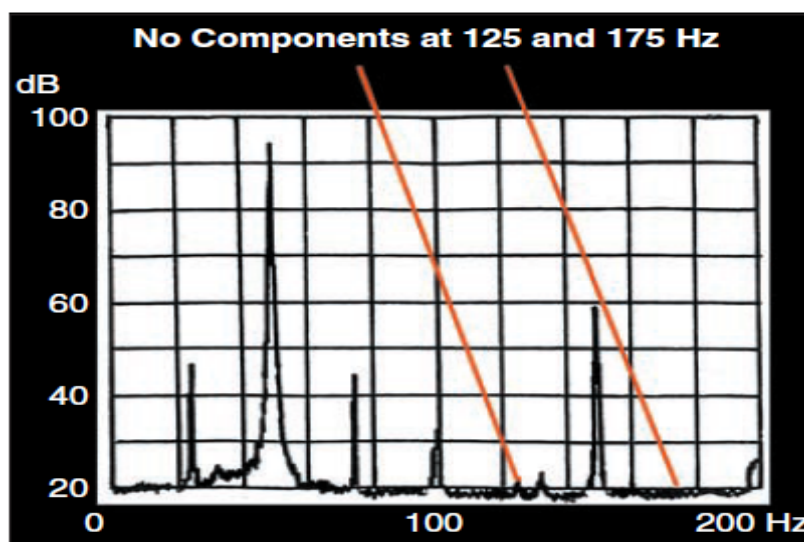
3. ความถี่ที่เกิดขึ้นจากความผิดปร้อง

$$f_{sb} = 50 \times (1 \pm (2 \times 0.01))$$

จากการคำนวณนี้จะเห็นว่า  $f_{sb}$  จะมีค่า 49 และ 51 Hz ดังนั้นแสดงในเห็นว่าถ้าเกิดมีค่าความถี่ที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่นี้ แสดงว่าโรเตอร์ของมอเตอร์มีความผิดปกติ

#### 4.2 ตัวอย่างการคำนวณความผิดปกติของสเตเตอร์[9]

จากผลการศึกษาความบกพร่องของโรเตอร์ของมอเตอร์เห็นยวน่าที่สเตเตอร์ไม่มีความผิดปกติ นั้น สัญญาณความถี่จะไม่มีค่าความถี่ฮาร์โมนิกเกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 สัญญาณความถี่ของสเตเตอร์ของมอเตอร์ปกติ

ดังภาพที่ 2.7 นั้นเกิดความผิดปกติขึ้นที่สเตเตอร์จะสามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้ โดยที่ มอเตอร์มี 4 poles และทำการทดลองขณะไม่มีโหลด

1. สลิปมีค่าเท่ากับ 0 เพราะวัดขณะไม่มีโหลด ความเร็วซิงโครนัสเท่ากับความเร็วโรเตอร์
2. คู่ poles มีค่าเท่ากับ 2 เพราะมี 4 poles
3. ความถี่ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น

$$\text{เมื่อ } k = 1 \text{ และ } n = 3, f_{st} = 50 \times \left\{ \frac{3}{2} (1 - 0) \pm 1 \right\}$$

$$f_{st} = 25 \text{ Hz และ } f_{st} = 125 \text{ Hz}$$

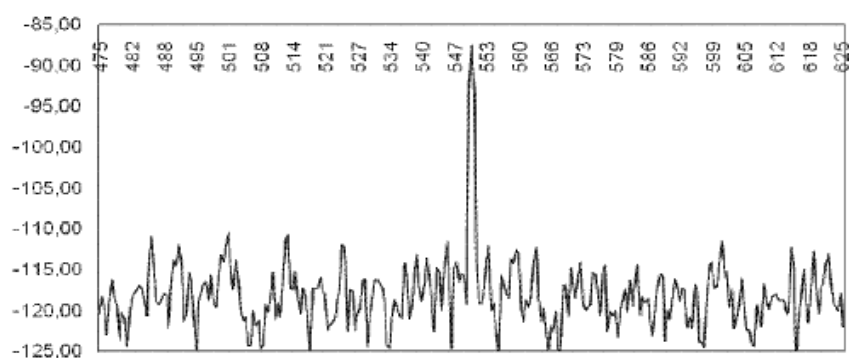
$$\text{เมื่อ } k = 1 \text{ และ } n = 5, f_{st} = 50 \times \left\{ \frac{5}{2} (1 - 0) \pm 1 \right\}$$

$$f_{st} = 75 \text{ Hz และ } f_{st} = 175 \text{ Hz}$$

นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์จะเห็นว่า 125 และ 175 Hz นั้นเกิดแถวความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 ซึ่งแสดงว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความผิดปกติเกิดขึ้นที่สเตเตอร์

#### 4.3 ตัวอย่างการคำนวณความผิดปกติของแบร์ริง[6]

จากผลการศึกษาความบกพร่องของโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แบร์ริงไม่มีความผิดปกติ นั้น สัญญาณความถี่จะไม่มีค่าความถี่ฮาร์มอนิกเกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 สัญญาณความถี่ของแบร์ริงของมอเตอร์ปกติ

ดังนั้นภาพที่ 2.11 นั้นมอเตอร์มีความผิดปกติที่แบร์ริงจะสามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนต่อไป โดยที่ มอเตอร์มี 2 poles ความเร็วโรเตอร์ขนาดโหลดเต็มพิกัด คือ 3154 rpm มีเส้นผ่าศูนย์กลางลูกกลิ้ง ( $D_B$ ) 7.92 mm. จำนวนลูกกลิ้ง ( $N_B$ ) 8 ลูก และระยะห่างของเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้ง ( $D_p$ ) 33.48 mm. มุมสัมผัสของลูกกลิ้งมีค่าเป็น 0 จากการตรวจวิเคราะห์ที่เกิดความผิดปกติที่วงแหวนด้านใน

1. ความถี่ของโรเตอร์

$$f_r = \frac{3154 \times 2}{120} = 52.57 \text{ Hz}$$

2. ความถี่ความผิดปร้อง

$$f_{IRF} = \frac{8}{2} (52.57) \left[ 1 + \frac{7.92}{33.48} \cos(0) \right] = 260.02 \text{ Hz}$$

3. ความถี่ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น

$$f_{BNG} = |50 \pm m \times 260.02|$$

นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์จะเห็นว่าเมื่อ  $m = 2$  จะมีค่า  $f_{BNG}$  ประมาณ 571 Hz ซึ่งความถี่นี้เป็นความถี่ฮาร์มอนิกที่เกิดเมื่อแบร์ริงของมอเตอร์มีความผิดปกติ ซึ่งแสดงว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความผิดปร้องเกิดขึ้นที่แบร์ริง

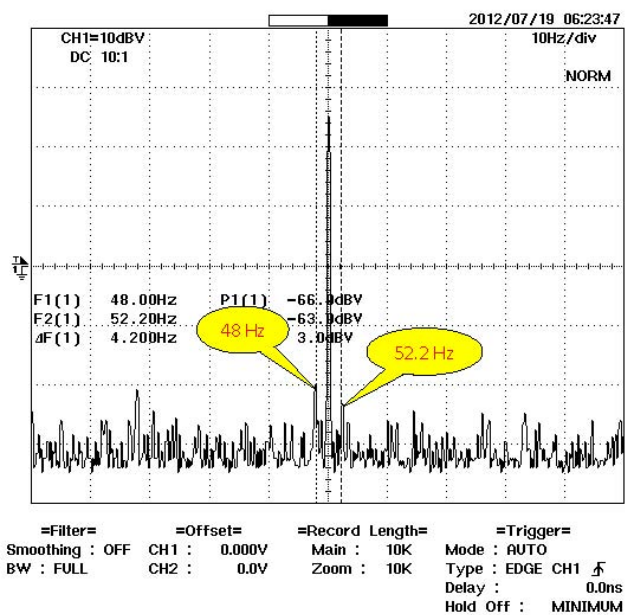
## 4.4 ผลการทดสอบโครงการ

### 4.2.1 ความผิดปร้องของโรเตอร์

การวิเคราะห์นี้ได้ทำการทดลองกับมอเตอร์ 11 kW 380 volt 2 poles ในโครงการนี้มอเตอร์ระบบบับค้ำน้ำเสียเพื่อหาความผิดปร้องที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์โดยทำการทดลองขณะมีโหลดด้วยความเร็วเชิงโคจรของมอเตอร์นี้มีค่า 3000 รอบต่อนาทีและความเร็วโรเตอร์ขณะมีโหลดมีค่า 2940 รอบต่อนาทีทำให้สามารถหาค่าของสลลิปได้เท่ากับ 0.002 จากสมการที่ 2.4 และสามารถหาช่วงของสเปกตรัมกระแสที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้เท่ากับ 48 และ 52 Hz จากสมการที่ 2.3 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์นำออสซิลโลสโคปไปวัดหาสเปกตรัมกระแสโดยแสดงในภาพที่ 4.4

จากการวัดจะเห็นว่ามีความถี่แอมพลิจูดเกิดขึ้นที่ความถี่ 48 และ 52.2 Hz จากการวิเคราะห์ได้ทำการแยกส่วนโรเตอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์การความผิดปร้องโดยแสดงในภาพที่ 4.5

จากการตรวจสอบจะเห็นได้ว่าโรเตอร์ของมอเตอร์ได้เกิดรอยแตกที่มุมของโรเตอร์ตามการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่ามอเตอร์นี้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดปร้องขึ้นในอนาคต



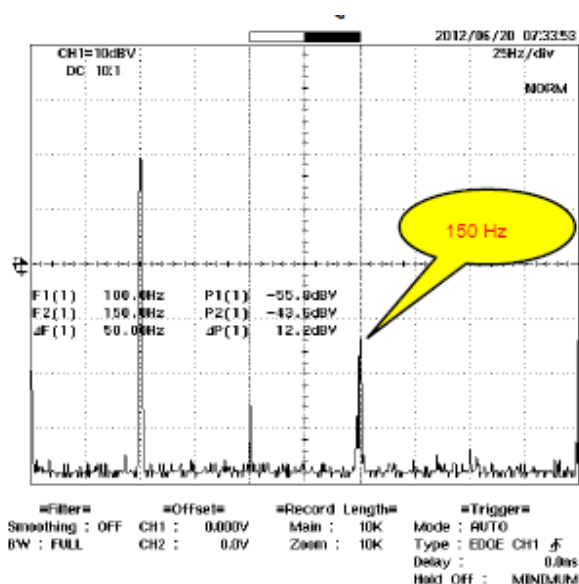
ภาพที่ 4.4 สัญญาณสเปกตรัมกระแสนในการวิเคราะห์โรเตอร์



ภาพที่ 4.5 โรเตอร์ของมอเตอร์ที่มีปัญหา

#### 4.2.2 ความผิดปกติของแบร์รี่จิ่ง

การวิเคราะห์นี้ได้ทำการทดลองกับมอเตอร์ 45 kW 380 volt 6 poles ในโรงงานนี้มอเตอร์ควบคุมปั้มน้ำมันเพื่อหาความผิดปกติที่เกิดกับแบร์รี่จิ่ง โดยทำการทดลองขณะมีโหลดโดยความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์นี้มีค่า 1000 rpm และความเร็วโรเตอร์ขณะมีโหลดมีค่า 999 rpm ทำให้สามารถหาค่าของ สลิปได้เท่ากับ 0.001 โดยจำนวนลูกกลิ้งเท่ากับ 8 ลูก เส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้งเท่ากับ 51 mm. และระยะห่างของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งเท่ากับ 102.5 mm. โดยในการวิเคราะห์นี้ได้ทำการวิเคราะห์ในกรณีที่ย่ำที่สุดโดยให้มุมสัมผัสของลูกกลิ้งมีค่าเท่ากับ 0 องศา จากการคำนวณหาค่าความถี่ตามสมการที่ 2.6-2.10 นำออสซิลโลสโคปไปวัดหาสเปกตรัมกระแสโดยแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 สัญญาณสเปกตรัมกระแสในการวิเคราะห์แบร์รี่จิ่ง

จากการวัดจะเห็นว่าค่าแอมพลิจูดเกิดขึ้นที่ความถี่ 150 Hz ตามค่า  $m$  เท่ากับ 1 ตามความผิดปกติที่เกิดที่วงแหวนด้านนอก จากการวิเคราะห์ได้ทำการแยกส่วนแบร์รี่จิ่งเพื่อนำมาวิเคราะห์การความผิดปกติโดยแสดงในภาพที่ 4.7



จะเห็นว่าสัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นที่ความถี่ 150 Hz หายไปเมื่อทำการเปลี่ยนแบร์ริงใหม่ จะเห็นว่าทฤษฎีการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์สามารถใช้ในการทดสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสของมอเตอร์ในการทดสอบจริงนั้นจะเห็นว่าทฤษฎีการวิเคราะห์นั้นสามารถใช้งานได้จริงในการทางปฏิบัติและทำให้ทราบถึงความผิดพลาดที่จะสร้างปัญหาให้กับมอเตอร์ได้ล่วงหน้า จึงเป็นสิ่งที่ดีที่จะทำให้มีการเตรียมความพร้อมในการซ่อมบำรุง แต่ในการทดสอบจริงนั้นการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสเพื่อใช้ในการหาความผิดพลาดของสเตเตอร์นั้นเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากว่าความผิดพลาดของสเตเตอร์นั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมอเตอร์เกิดการลัดวงจรที่ขดลวดของสเตเตอร์ เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ขดลวดนั้นก็ทำให้เกิดความผิดพลาดของสเตเตอร์และส่งผลกระทบต่อมอเตอร์ จึงกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสนั้นไม่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาความผิดพลาดของสเตเตอร์ โครงการนี้ได้ทำการทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสนั้นได้ทำงานทดสอบเฉพาะมอเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel-cage rotor) ดังนั้นการทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสในมอเตอร์แบบขดลวดพัน (Wound rotor) นั้นจึงเป็นสิ่งที่ดีในการที่จะทำการวิจัยต่อจากโครงการนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Motor Reliability Working Group, "Report of large motor reliability survey of industrial commercial installations," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, Part I, vol. IA-21, pp.853- 872, July/Aug. 1985.
- [2] O.V. Thorsen and M. Dalva, "Condition monitoring methods, failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry," *Proc. 8th Inst. Elec. Eng. Int. Conf., EMD'97*, University of Cambridge, no. 444, pp. 109-113, 1997.
- [3] A.H. Bonnet and G.C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 28, pp. 921-937, July/Aug. 1992.
- [4] Y. Zhongming and W. Bin "A review on induction motor online fault diagnosis," *IEEE IPEMC 2000*, vol. 3. pp. 1353-1358, Aug. 2000.
- [5] M. Fenger and B. A. Lloyd, "Case histories of current signature analysis to detect faults in induction motor drives," *IEEE IEMDC 03*, vol. 3. pp. 1459-1465, June 2003.
- [6] J. Royo and F. J. Arcega "Machine current signature analysis as a way for fault detection in squirrel cage wind generators," *IEEE SDEMPED 07*, pp. 383-387, Sept 2007.
- [7] W. T. Thomson and M. Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor fault," *IEEE Mag*, Vol. 7., Issue. 4., pp. 26-34, Jul/Aug 2001.
- [8] L. Szabo, J. B. dobai and K. A. Biro "Virtual Instruments for detectind rotor faults in induction Motors," *Advance in Electrical and Electronic Engineering*, 2011.
- [9] เอกกมล บุญยะพลานันท์ สุรพันธ์ ต้นศรีวงษ์ และ พูนศักดิ์ โกษียาภรณ์ "การวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วยสเปกตรัมกระแส: การทบทวน" วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 ม.ค. - เม.ย. 2554.