สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ญ
สารบาญรูป	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	6
บทที่ 2 การวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส	7
2.1 การแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์	7
2.2 ความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์	10
2.3 การการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์	15
2.4 การแปลงฟาสท์ฟูเรียร์	16
2.5 วินโดว์ฟังก์ชั่น	31
2.6 หลักการในการตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส	40
บทที่ 3 โปรแกรมวิเคราะห์กระแสสเตเตอร์	42
3.1 LabVIEW	42
3.2 อัลกอริทึมในการเขียนโปรแกรม	51
3.3 Front panel และ Diagram ของโปรแกรม	55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

3.4 การเลือกความถี่ในการสุ่มที่เหมาะสม 69
3.5 การปรับปรุงสัญญาณโดยใช้วินโดว์ฟังก์ชั่น 75
3.6 ลำดับเฟส 79

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 81
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 81
4.2 การเตรียมเครื่องมือก่อนการตรวจวัด 82
4.3 ขั้นตอนการตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์ 82
4.4 ผลการตรวจจับและการวิเคราะห์การแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ 83
4.5 ผลการตรวจจับและการวิเคราะห์ความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศ ระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ 85
4.6 ผลการตรวจจับและการวิเคราะห์การสั่นของรอบของขดลวดสเตเตอร์ 87

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 99
5.1 สรุปผลการวิจัย 99
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 100
5.3 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ 100

เอกสารอ้างอิง 102

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก Front Panel และ Block Diagram ของโปรแกรมวิเคราะห์กระแสสเตเตอร์ 104
ภาคผนวก ข การทดสอบความถูกต้องของเครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์กระแสสเตเตอร์ 126
ภาคผนวก ค การทดลองตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์ก่อนนำไปใช้งาน 127
ภาคผนวก ง การตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์ในงานจริง 130

ประวัติผู้เขียน 132

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง **หน้า**

1.1 การตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์โดยการวิเคราะห์จากกระแสที่สเตเตอร์ 3
3.1 ตารางเทียบเคียงคำศัพท์ที่ใช้เรียกใน LabVIEW และโปรแกรมทั่วไป 43
3.2 ความสัมพันธ์ของความถี่ในการสุ่ม จำนวนตัวอย่าง ความห่างของความถี่และจำนวนเวลาที่วัดได้ 70
3.3 ตารางที่ 3.3 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของแอมปลิจูดและความถี่ในการสุ่มต่าง ๆ 72

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญรูป

รูป		หน้า
1.1	วิธีการในการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์	4
2.1	สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ที่แท่งตัวนำหัก 3 แท่งขณะโหลดพิกัด	9
2.2	สเปกตรัมของกระแสของโม่บดถ่านที่มีเกียร์เป็นตัวขับโหลด	9
2.3	ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	16
2.4	สัญญาณไซน์และการแปลงฟูเรียร์ไซน์ต่อเนื่อง	18
2.5	สัญญาณไซน์และการแปลงฟูเรียร์ไซน์ด้วย DFT	20
2.6	สัญญาณไซน์รูปสี่เหลี่ยม	21
2.7	การสมมาตรของค่าทวิดเดินส์แฟคเตอร์	21
2.8	การแยกการแปลงฟูเรียร์สัญญาณ N จุดออกเป็นการแปลงฟูเรียร์สัญญาณ N/2 – จุด 2 ครั้ง	24
2.9	การแยกการแปลงฟูเรียร์สัญญาณ N จุดออกเป็นการแปลงฟูเรียร์สัญญาณ N/4 จุด 4 ครั้ง	25
2.10	การแปลงสัญญาณฟาสท์ฟูเรียร์ 8 จุด	25
2.11	วิธีการคำนวณฟาสท์ฟูเรียร์ 2 จุด	26
2.12	ค่าที่ได้จากการแปลงฟาสท์ฟูเรียร์สัญญาณ 8 จุดโดยใช้การคำนวณในเทอมของความถี่และใช้จุดตัวอย่างทีละ 2 จุด	27
2.13	ตัวอย่างการแปลงสัญญาณไซน์ด้วย FFT	30
2.14	คอนโวลูชั่นของสัญญาณตามสมการ(43)	32
2.15	วินโดว์แบบ Rectangular	37
2.16	วินโดว์แบบ Hanning	37
2.17	วินโดว์แบบ Hamming	37
2.18	วินโดว์แบบ Blackman Harris	38
2.19	วินโดว์แบบ Exact Blackman	38
2.20	วินโดว์แบบ Balckman	38

2.21	วินโดว์แบบ Flattop	39
2.22	วินโดว์แบบ 4 Term B-Harris	39
2.23	วินโดว์แบบ 7 Term B-Harris	39
2.24	หลักการในการตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำแบบ3เฟส	40
3.1	การนำ LabVIEW ไปใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ	44
3.2	Front panel ของโปรแกรม	44
3.3	Block diagram ของโปรแกรม	45
3.4	Tools palette ของโปรแกรม	45
3.5	Control Palatte ของโปรแกรม	46
3.6	Function Palatte ของโปรแกรม	46
3.7	การสร้างโปรแกรมใหม่	47
3.8	การเลือก palatte	48
3.9	การสร้าง Waveform chart	48
3.10	การสร้าง Block diagram	49
3.11	การต่อสายเชื่อมระหว่าง Objects	50
3.12	การ Run โปรแกรม	50
3.13	อัลกอริทึมในการเขียนโปรแกรม	51
3.14	รูปคลื่นสัญญาณกระแสสเตเตอร์	52
3.15	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	52
3.16	สเปกตรัมของกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่	53
3.17	สเปกตรัมของกระแสเมื่อทำการสุ่มครบคาบ	53
3.18	สเปกตรัมของกระแสเมื่อทำการสุ่มไม่ครบคาบ	54
3.19	ส่วนแสดงผลการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์	55
3.20	Front panel ของโปรแกรมวิเคราะห์กระแสสเตเตอร์	56
3.21	ผังงานขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม	60
3.22	ผังงานขั้นตอนการตรวจจับการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์	61
3.23	ผังงานขั้นตอนการตรวจจับความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์	62
3.24	ผังงานขั้นตอนการตรวจจับการสั่นของขดลวดสเตเตอร์	64
3.25	แผนผังของโปรแกรมวิเคราะห์กระแสสเตเตอร์	65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

3.26	แผนผังของ input current.vi	66
3.27	แผนผังของ noload sideband detection.vi	67
3.28	แผนผังของ turn to turn short .vi	67
3.29	แผนผังของ broken bar of rotor.vi	68
3.30	แผนผังของ airgap eccentricity.vi	69
3.31	สเปกตรัมของกระแสเมื่อความถี่ในการสุ่ม 10.000 ตัวอย่างต่อวินาที	71
3.32	สเปกตรัมของกระแสเมื่อความถี่ในการสุ่ม 5.000 ตัวอย่างต่อวินาที	72
3.33	สเปกตรัมของกระแสเมื่อความถี่ในการสุ่ม 2.000 ตัวอย่างต่อวินาที	73
3.34	สเปกตรัมของกระแสเมื่อความถี่ในการสุ่ม 1.000 ตัวอย่างต่อวินาที	74
4.1	การเตรียมเครื่องมือก่อนการตรวจสอบ	82
4.2	ผลการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์	83
4.3	สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติ	88
4.4	สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์หัก ขณะมีโหลด	89
4.5	สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์ หัก 6 แท่ง	90
4.6	สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติ	91
4.7	สเปกตรัมของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2กิโลวัตต์เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์หัก ขณะมีโหลด	92
4.8	สเปกตรัม Lower side band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อ แบริ่งปกติและแบริ่งเสีย	93
4.9	สเปกตรัม Upper side-band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์เมื่อ แบริ่งปกติและแบริ่งเสีย	94
4.10	สเปกตรัม Lower side band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อ แบริ่งปกติและแบริ่งเสีย	95
4.11	สเปกตรัม Upper side-band ของกระแสของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์เมื่อ แบริ่งปกติและแบริ่งเสีย	96
4.12	ผลการคำนวณของกระแสลำดับลบของมอเตอร์ขนาด 0.4 กิโลวัตต์	97
4.13	ผลการคำนวณของกระแสลำดับลบของมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์	98

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อ	ความหมาย
FFT	Fast Fourier Transform
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
GPIB	General Purpose Interface Bus
RS-232	Recommended Standard 232
RS-485	Recommended Standard 485
DAQ	Data Acquisition
VIs	Virtual Instruments

สัญญลักษณ์	ความหมาย
s	สลิป
f_s	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (เฮิร์ต)
n_r	ความถี่ในการหมุนของโรเตอร์ (รอบต่อวินาที)
N	จำนวนสล๊อต (สล๊อต)
P	จำนวนขั้ว (ขั้ว)
n	จำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์ที่แตกหัก (แท่ง)
R_s	อัตราส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่ผิดปกติต่อแอมพลิจูดของแหล่งจ่าย
g	ความยาวของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ (เมตร)
J_s	ค่าสูงสุดของความหนาแน่นกระแส (แอมป์ต่อเมตร)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University