ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ

นายพงศ์สุพัฒน์ ศุภศิริสินธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-694-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19945144 22 พ.ค. 2545

AN EXPERT SYSTEM FOR AC INDUCTION MOTOR VIBRATION DIAGNOSIS

Mr. Pongsupat Supasirisin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineeering in Engineering Management
The Regional Centre for Manufacturing System Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1999
ISBN 974-332-694-4

Thesis Title	: An Expert System for AC Induction Motor Vibration Diagnosis
By	: Mr. Pongsupat Supasirisin
Department	: The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering
Thesis Advisor	: Assistant Professor Dr. Parames Chutima

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

..... Acting Dean of Graduate School

(Assistant Professor Ananchai Kongchan, D.B.A.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Associate Professor Tatchai Sumitra, Dr.Ing.)

..... Thesis Advisor

(Assistant Professor Parames Chutima, Ph.D.)

..... Member

(Professor Sirichan Thongprasert, Ph.D.)

พงศ์สุพัฒน์ ศุภศิริสินธุ์ : ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (AN EXPERT SYSTEM FOR AC INDUCTION MOTOR VIBRATION DIAGNOSIS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ปารเมศ ชุติมา, 230 หน้า. ISBN 974-332-694-4

มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานทั่วไป การเสียหายของมอเตอร์ สามารถทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักได้ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว การตรวจสอบสภาพของมอเตอร์จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เป็นหนึ่งในหลายเทคนิค ที่สามารถตรวจจับความเสียหายของมอเตอร์ได้ อย่างไรก็ดี เทคนิคนี้ ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในประเทศไทยมีอยู่น้อย จึงเป็นที่มาของการศึกษาและพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยความเสียหายของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับโดยอาศัยสัญญาณการสั่นสะเทือน ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้มีชื่อเรียกว่า ESMVD (an Expert System for AC induction Motor Vibration Diagnosis) ในการศึกษานี้ครอบคลุมมอเตอร์ขนาดตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์ถึง 1,000 กิโลวัตต์

ฐานความรู้ (Knowledge Base) ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ถูกเก็บรวบรวมจากหลายแหล่งข้อมูล อาทิเช่น บทความ คู่มือ ผู้เชี่ยวชาญ อินเตอร์เน็ต ฯลฯ ระบบผู้เชี่ยวชาญใช้การสืบค้นแบบลูกโซ่ย้อนกลับ (Backward Chaining) ในการค้นหาความรู้จากฐานความรู้ ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริง ปรากฏว่า ระบบผู้เชี่ยวชาญ ESMVD สามารถบอกแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ของสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถบอกสภาพของมอเตอร์และให้คำแนะนำในการดำเนินการเพิ่มเติมเพื่อป้องกันไม่ให้มอเตอร์เสียหายจนไม่สามารถใช้งานได้ อย่างไรก็ดีข้อจำกัดของระบบผู้เชี่ยวชาญ ESMVD คือไม่สามารถระบุถึงแหล่งที่มาของสัญญาณการสั่นสะเทือนจากด้านโหลด ในการที่จะติดตั้งใช้งานจริงในโรงงานเฉพาะแห่ง ผู้ใช้งานควรเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวินิจฉัย และเพื่อให้การวินิจฉัยครอบคลุมถึงด้านโหลด

ภาควิชา ...ศูนย์ระดับภูมิภาคเทคโนโลยีชายฝั่งทะเลระยอง... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ...การจัดการงานวิศวกรรม... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา ...2549... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4071617021 : MAJOR ENGINEERING MANAGEMENT
KEY WORD: Vibration analysis / expert system

PONGSUPAT SUPASIRISIN : AN EXPERT SYSTEM FOR AC INDUCTION MOTOR VIBRATION DIAGNOSIS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. 230pp. ISBN 974-332-694-4

AC induction motor is generally used in most manufacturing plants. Its breakdown can cause the manufacturing to a halted. To prevent it from breakdown, monitoring its status seems inevitable. Vibration analysis is one of the techniques that can be used to detect motor malfunction. However, this technique relies heavily on human's experience, which is scarce in Thailand. Furthermore, human experts may not available when needed. Hence, there is a need for the development of an expert system called ESMVD (an Expert System for AC induction Motor Vibration Diagnosis) for diagnosis the failure of AC induction motor from the monitored vibration signal. The range of induction motor in this study is 10-1000 kW

The knowledge base related vibration analysis is collected from various available sources, e.g. literature, manual, human experts, Internet. The backward chaining is used as the searching strategy in ESMVD. After testing with the real data, it is clear that ESMVD can give satisfactory results. It can tell the possible source of vibration signal, both on time domain and frequency domain. Moreover, it can show status of motor and gives recommendations for further action to be taken. However, the limitation of the ESMVD is that it does not cover all the possible source of vibration signal. That is vibration on AC induction motor from its load side is excluded. To implement the ESMVD in particular manufacturing plant, further enhancement in knowledge base has to be done to increase diagnosis range to cover the load side.

ภาควิชา ศูนย์วิทยทรัพยากร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 1999 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

Acknowledgments

I would like to express my profound and sincerely thanks to Assistant Professor Dr. Parames Chutima, my advisor. Without his kind guidance and encourage, constructional advice, incisive criticisms throughout the period of this thesis study, my exploration for the methodologies to develop an expert system for AC induction motor vibration diagnosis would not be so successful.

My special gratitude also render to Associate Professor Dr. Tatchiai Sumitra and Professor Dr. Sirichan Thongprasert who serve on the Examination Committee for their kind suggestions towards the entire course of studies.

Sincere appreciation is extended to Mr. Theerachai Patanakijpairoj for his invaluable suggestion and many sources used in my study. I also thank Mr. Khemanut Thengtrong for his data and notebook. Without his his kind cooperation, my work would not be completed conveniently. Besides, I really appreciate to Mr. Chira Archayuthakarn for his great encouragement throughout this thesis study.

Finally, my special thanks should be given to my beloved parents for their love, encouragement and supports from the beginning of my project up to its accomplishment.

Table of Contents

Pages

Abstract (Thai) iv
Abstract (English) v
Acknowledgements vi
Table of Contents vii
List of Figures xi
List of Tables xiv

Chapter 1 Introduction 1
1.1 Background 1
1.2 Statement of Problem 4
1.3 Objective 6
1.4 Scope of Research 7
1.5 Expected Benefits of Research 8
1.6 Procedures and Methodology of Research 9
1.7 Organization of Report 10

Chapter 2 AC Induction Motor and Vibration Signal 11
2.1 Introduction to motor 11
2.1.1 Structure of AC Induction Motor 12
2.1.2 Rotating Magnetic Field 14
2.1.3 Mechanical Force and Slip Frequency 16
2.1.4 failure parts of motor 17
2.2 Vibration 17
2.2.1 Vibration monitoring 18
2.2.2 Vibration analysis 18
2.2.3 Source of vibration 19

Table of Contents (continued)

2.2.4 Measuring Vibration Signal 20
2.2.4.1 Equipment for vibration analysis 21
2.2.4.2 Points to measuring 23
2.2.5 Amplitude 24
2.2.6 Frequency 24
2.2.7 Spectrum analysis by Fast Fourier Transform 25
2.2.8 Vibration Severity 26
2.2.9 Other Techniques for analysis 28
2.2.9.1 Oil analysis 28
2.3 Diagnosis 29
2.3.1 High level of reasoning diagnosis 29
2.3.2 Diagnosis from experience 29
2.3.3 Combination strategy 30
2.4 Literature Survey and Internet Sources..... 31

Chapter 3 Overview of Expert System 38
3.1 Introduction to Expert System 38
3.2 Architecture of Expert System 39
3.3 Knowledge Acquisition 41
3.4 Knowledge Representation..... 41
3.4.1Structure Objects..... 43
3.5 Inference Strategies 44
3.5.1 Backward Chaining..... 44
3.5.2 Forward Chaining..... 46
3.5.3 Forward Chaining and Backward Chaining..... 48
3.5.4 Mixed Mode Chaining..... 48
3.6 Developing Tools Selection 49
3.7 The Level5 Object 49
3.8 Basic Steps in Developing an Expert System..... 50
3.9 Literature Survey 53

Table of Contents (continued)

Chapter 4 Procedures

4.1 System Design 64
4.1.1 Existing Approach..... 64
4.2 Design Procedures..... 67
4.3 Knowledge Acquisition 68
4.3.1 Interviewing..... 68
4.3.1.1 Expected Result from Interviewing..... 69
4.3.1.2 Interviewing Procedures..... 70
4.3.1.3 Steps of Approaching..... 73
4.3.2 Related Literatures..... 74
4.3.3 Related Manual Documents..... 75
4.3.4 Internet Sources..... 77
4.3.5 Other Training Source..... 80
4.4 Knowledge Representation..... 81
4.5 ESMVD Structure 85
4.6 An Example of Backward Chaining Searching Algorithm..... 97

Chapter 5 Validation

5.1 Methodology and Objective 102
5.1.1 Validation Procedures..... 105
5.2 Validation Process for Overall Value..... 106
5.2.1 An example of overall value 106
5.2.2 ESMVD's output 107
5.2.3 Comparison between ESMVD's output and actual data 110
5.2.4 Others Overall Cases..... 111
5.2.5 Comparison of the result..... 112
5.3 Validation Process for Spectrum Analysis..... 117
5.3.1 An example of spectrum in validation process..... 117
5.3.2 Another cases for validation process..... 121
5.3.3 Conclusion for spectrum validation..... 123

Table of Contents (continued)

5.4 Conclusion for Validation..... 125

Chapter 6 Conclusion and Recommendations

6.1 Conclusion 126

6.2 Recommendations 128

References..... 129

Appendices

Appendix A Rule bases for Overall Value..... 133

Appendix B Rule bases for Vibration Spectrum..... 151

Appendix C Failure Symptom in Knowledge Base..... 167

Appendix D Vibration Terminology..... 175

Vita..... 230

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of Figures

Page

Figure 1.1 Process of vibration signal in maintenance work. 5

Figure 2.1 Stator of AC induction motor 13

Figure 2.2 picture of vibration analyzer 21

Figure 2.3 measuring points on horizontally mounted machine 23

Figure 2.4 measuring points on vertically mounted machine 24

Figure 3.1 Basic architecture of an expert system..... 40

Figure 3.2 Process of Backward Chaining..... 44

Figure 3.3 Process of Forward Chaining..... 46

Figure 4.1 Step of vibration signal collection and diagnosis..... 65

Figure 4.2 Design Procedures of the ESMVD..... 67

Figure 4.3 Steps of interviewing..... 70

Figure 4.4 an example of interactive conversation between human expert and interviewer..... 72

Figure 4.5 Steps of Approaching in Spectrum Analysis..... 73

Figure 4.6 Spectrum of bearing lubricant deficiency..... 79

Figure 4.7 Spectrum after greased..... 80

Figure 4.8 Object Structure in the Level5 Object..... 81

Figure 4.9 An example of the object structure..... 82

Figure 4.10 rules for misalignment symptom..... 83

Figure 4.11 Rule for misalignment with confident factor 100..... 83

Figure 4.11 Rule for misalignment with confident factor 85..... 84

List of Figures (continued)

Figure 4.13 Rule for misalignment with confident factor 70..... 84

Figure 4.14 Three main panels of the ESMVD..... 86

Figure 4.15 Introduction display of ESMVD..... 87

Figure 4.16 Measurement display of ESMVD..... 88

Figure 4.17 Inquiry display of ESMVD on time domain..... 89

Figure 4.18 Error message of ESMVD..... 89

Figure 4.19 Velocity inquiry display..... 90

Figure 4.20 Machine status..... 91

Figure 4.21 Recommendation for the machine..... 92

Figure 4.22 Machine data screen..... 93

Figure 4.23 Dominant Failure Frequencies..... 94

Figure 4.24 Interactive display in spectrum analysis..... 95

Figure 4.25 Conclusion screen of spectrum..... 96

Figure 4.26 Agenda list of the ESMVD..... 97

Figure 4.27 Interactive Screen..... 98

Figure 4.28 Rule number 310 of the ESMVD..... 99

Figure 4.29 Interactive Screen..... 100

Figure 4.30 Conclusion Screen..... 101

Figure 5.1 Validation Form for the ESMVD..... 103

Figure 5.2 Data for Validation..... 104

Figure 5.3 Validation Procedures..... 105

Figure 5.4 The inquiry display..... 108

Figure 5.5 Machine Status..... 109

List of Figures (continued)

Figure 5.6 ESMVD's recommendations..... 110

Figure 5.7 High 1X running speed..... 117

Figure 5.8 Interactive display in Spectrum Analysis 118

Figure 5.9 Series of question..... 119

Figure 5.10 Conclusion from ESMVD..... 120

Figure 5.11 Spectrum after balancing shaft..... 121

Figure 5.12 bearing outer race defect..... 122

Figure 5.13 Flaw on the outer race of the bearing..... 122

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of Tables

Page

Table 2.1 Vibration severity from table B1 of ISO 10816..... 27

Table 4.1 Vibration Diagnostic Table for Horizontal Shaft..... 76

Table 4.2 Vibration Diagnostic Table for Overhung Shaft..... 77

Table 4.3 Vibration Diagnostic Table for Vertical Shaft..... 77

Table 5.1 Overall Data for Validation process..... 106

Table 5.2 Historical Record of Overall Value..... 111

Table 5.3 Present Overall Value..... 112

Table 5.4 Comparison between the ESMVD's output and historical records... 113

Table 5.5 comparison between the ESMVD's output and present data 114

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย