

**DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR POWER  
TRANSFORMER FAULTS DIAGNOSIS**



**Mr. Chairat Yeamsawad**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Master Degree of Engineering in Engineering Management  
The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering**

**Graduate school**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1997**

**ISBN 974-637-027-8**

**Thesis Title : Development of an Expert System for Power Transformer  
Faults Diagnosis**

**By : Mr. Chairat Yeamsawad**

**Department : The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering**

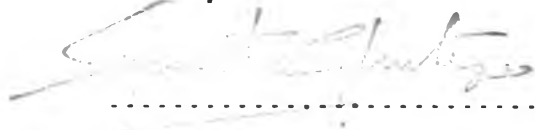
**Thesis Advisor : Associate Professor Tatchai Sumitra, Dr.Ing.**

**Thesis Co-advisor : Mr. Chana Sopharak**

---

**Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial**

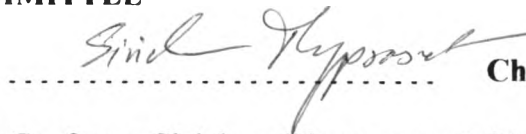
**Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree**



**Dean of Graduate School**

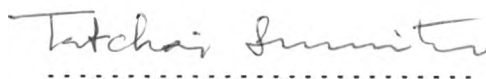
**(Professor Suppawat Chutivong, M.D.)**

**THESIS COMMITTEE**



**Chairman**

**(Professor Sirichan Thongprasert, Ph.D.)**



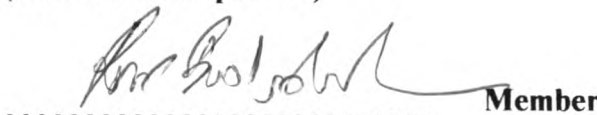
**Thesis Advisor**

**(Associate Professor Tatchai Sumitra, Dr.Ing.)**



**Thesis Co-advisor**

**(Mr. Chana Sopharak)**



**Member**

**(Assistant Professor Rein Boondiskulchok, Ph.D.)**

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมที่เพียงแผ่นเดียว  
 ชัยรัตน์ เยี่ยมสวัสดิ์ : การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยข้อขัดข้องของหม้อแปลงไฟ  
 ฟีกำลัง (DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR POWER  
 TRANSFORMER FAULTS DIAGNOSIS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ชัชชัย สุมิตร, อ. ที่-  
 ปรึกษาร่วม : นาย ชนะ โสภารักษ์, 158 หน้า. ISBN 974-637-027-8.



หม้อแปลงไฟฟีกำลังนับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบไฟฟีกำลังประเภทหนึ่ง การที่จะ  
 ทำให้ระบบไฟฟีกำลังมีความมั่นคงและเชื่อถือได้ จำเป็นที่จะต้องเพิ่มความมั่นคงของอุปกรณ์ที่สำคัญใน  
 ระบบทุกประเภท โดยเฉพาะในเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนหรือข้อขัดข้องต่างๆ ขึ้นในระบบโดยที่ไม่  
 สามารถทราบได้ล่วงหน้า อุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์นั้นๆ ก็จำเป็นที่จะต้องได้รับการตรวจ  
 สอบแก้ไขและนำกลับเข้าใช้งานตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ระบบกลับเข้าสู่สภาวะปกติอย่าง  
 ทันทีทันใด

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยข้อขัดข้องของหม้อแปลงไฟฟีกำลังจึงเป็นระบบที่สามารถ  
 ช่วยให้การนำระบบกลับเข้าสู่สภาวะปกติเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้น การพัฒนาระบบจะกระทำภายใต้  
 เครื่องมือสำหรับพัฒนาระบบในการพัฒนาฐานความรู้ขึ้นมาจาก ความรู้, ประสบการณ์, และลำดับการ  
 วิเคราะห์ปัญหาที่ถูกเก็บรวบรวมขึ้นมาจากแหล่งความรู้ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากประสบการณ์  
 การวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญ และหนังสือคู่มือตรวจสอบแล้วสร้างส่วนเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้และฐาน  
 ความรู้แบบกราฟิก อันจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานโดยทั่วไปและผู้ที่ยังขาดความชำนาญสามารถที่จะใช้งาน  
 ระบบได้ง่ายและสะดวก รวมทั้งยังลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดในการตัดสินใจได้ในระดับหนึ่ง

ภาควิชา .....  
 สาขาวิชา .....  
 ปีการศึกษา ..... 2540 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # C819237 MAJOR ENGINEERING MANAGEMENT

KEY WORD:

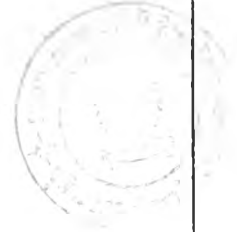
EXPERT SYSTEM / POWER TRANSFORMER FAULT / DIAGNOSIS

CHAIRAT YEAMSAWAD : DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR

POWER TRANSFORMER FAULTS DIAGNOSIS. THESIS ADVISOR :

ASSOCIATE PROFESSOR TATCHAI SUMITRA, Dr.Eng. THESIS

COADVISOR : CHANA SOPHARAK. 158 pp. ISBN 974-637-027-8.



Power transformers are very important electrical instrument in power system, the certainty and reliability of power system depend on the firm of all related equipment, especially when the uncertainties of fault events happened to the power system accidentally without warning, the failure of equipment needs to be determined and restored back to the system as soon as possible following recommendation from human experts.

Expert system for power transformer faults diagnosis is able to improve efficiency of power system restoration, the expert system was developed under the developing tools by establishing knowledge base from gathered knowledge collected from domain experts and other sources of knowledge especially experiences of expert diagnosis and power transformer troubleshooting handbooks, then the graphic user interface will be created for easy to use and understand of users which will enable them to improve their efficiency in work and reduce opportunities to make wrong determination.

ภาควิชา..... วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี..... ลายมือชื่อนิสิต..... Chairat Yeamsawad

สาขาวิชา..... วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Tatchai Sumitra

ปีการศึกษา..... 2540..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Chana S.

## ACKNOWLEDGMENTS

I owe a continuing debt of my profound gratitude to Assoc. Prof. Tatchai Sumitra who is my supervisor, for his invaluable guidance and the confidence he displayed during my study.

I am pleased to acknowledging the invaluable assistance, helpful criticism, and constructive advice from Prof. Sirichan Thongprasert and Asst. Prof. Rein Boondiskulchok while serving as members of the examination committee.

I am extremely grateful to my colleagues for helping me to improve my practical English usage in this thesis with the assistance and helpful advice, and wish to record my sincere thanks for their courteous and helpful suggestions.

I also wish to express my appreciation for the constant encouragement and moral support of my beloved parents.

My acknowledgments would not be completed without thanking to Mr. Chana Sopharak who is my co-advisor from R&D Office and the Electricity Generating Authority of Thailand for give me permission to resume my studies.

## TABLE OF CONTENTS

TITLE	PAGE
Thai Abstract .....	iii
English Abstract .....	iv
Acknowledgments .....	v
Table of Contents. ....	vi
List of Figures .....	xii
List of Tables .....	xiv
CHAPTER	
1 Introduction	
1.1 Background .....	1
1.2 Statement of Problems .....	2
1.3 Objectives of Research .....	4
1.4 Scopes of Research .....	4
1.5 Expected Benefits of Research .....	5
1.6 Procedures and Methodology of Research .....	5
1.7 Specific Words and Terminology .....	6
2 Power Transformers and Associated Faults	
2.1 Transformer Definition .....	10
2.2 Power Transformers Definition .....	10
2.3 Transformer Types .....	13
2.3.1 Types of Transformers According to Application .....	13
2.3.2 Types of Transformers According to Service in Transmission System .....	13
2.3.3 Types of Transformers According to Service in Power System ..	14
2.3.4 Types of Transformers According to Cooling Types .....	14
2.3.5 Types of Power Transformers According to Construction Types ..	16
2.4 Important Parts of Power Transformer and Related Equipment .....	17

## CHAPTER

2.4.1	External Parts of Power Transformers .....	17
2.4.2	Parts Between Internal and External Section of Power Transformers .....	22
2.4.3	Magnetic Circuit Parts of Power Transformers .....	23
2.4.4	Electrical Circuit Parts of Power Transformers .....	24
2.5	Power Transformer Faults .....	24
2.5.1	Internal Short Circuit .....	25
2.5.2	External Short Circuit .....	26
2.5.3	Overload .....	26
2.5.4	Overvoltage .....	27
2.5.5	Inrush Current .....	28
2.6	Power Transformer Protection .....	28
2.6.1	Mechanical Relay .....	28
2.6.2	Electrical Relay .....	31
2.7	Annunciator .....	35
2.8	Electricity Generating Authority and Related Department .....	37
2.8.1	Electricity Generating Authority of Thailand .....	37
2.8.2	Transmission System Maintenance Department .....	40
2.8.3	Power System Control Department .....	43
2.8.4	Other Operation Department .....	43
3	Expert System Theory .....	
3.1	Expert System .....	45
3.1.1	Expert System Definition .....	45
3.1.2	Characteristics of an Expert System .....	45
3.1.3	The Procedures for Developing an Expert System .....	46
3.1.4	Benefits of Expert System .....	47
3.1.5	Expert System Implementation .....	48
3.2	Fundamental Structure of Expert System .....	52
3.2.1	Knowledge Sources .....	53

## CHAPTER

3.2.2 Knowledge Engineer .....	53
3.2.3 Knowledge Acquisition .....	53
3.2.4 Knowledge Base .....	55
3.2.5 Inference Engine .....	58
3.2.6 User Interface .....	59
3.3 Related Literature Surveys .....	61
4 Research Methodology	
4.1 System Design .....	68
4.2 Data Description .....	68
4.2.1 Power Transformer Location .....	69
4.2.2 Annunciator of Power Transformer in Control Room .....	70
4.2.3 Relay .....	73
4.3 Data Acquisition .....	74
4.4 Data Transformation .....	76
4.5 Knowledge Base Design .....	77
4.6 User Interface .....	78
5 Research Result	
5.1 A Sample Case of Developed Expert System .....	83
5.2 Test When Single Alarm Happened .....	83
5.2.1 Test when Trip Happened .....	83
5.2.2 Test When Alarm Happened .....	85
5.2.3 Test When Minor Trouble Alarm Happened .....	85
5.3 Test When Multiple Alarm Happened .....	88
6 Conclusion and Recommendations	
6.1 Conclusion .....	89
6.2 Recommendation .....	90
References .....	92
Appendices	
Appendix A Knowledge Representation .....	98



## CHAPTER

Appendix B Results of Expert System .....	113
Appendix C Power Transformers in central Region .....	123
Appendix D Causes of Abnormal Events .....	130
Appendix E Fault Events in Central Region .....	133
Appendix F Power Transformer Consideration .....	150
Biography .....	158

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 An Example of Power Transformers Placed in the Power System .....	11
2.2 Power Transformers in a High Voltage Substation .....	12
2.3 Shell Type Transformer .....	16
2.4 Core Type Transformer .....	17
2.5 The Positions of Important Parts of Power Transformers .....	18
2.6 The Construction of Breather .....	20
2.7 The Illustration of Bushing .....	22
2.8 The Illustration of Position of Buchholtz Relay .....	30
2.9 The Illustration of Consistency Parts of Buchholtz Relay .....	30
2.10 Annunciators at the Transformer Panel .....	35
2.11 EGAT's Organisation Structure .....	38
2.12 Organisation Chart of Electricity Generating Authority .....	39
2.13 Organisation Chart of Transmission System Maintenance Department .....	42
3.1 The Procedures for Developing an Expert System .....	46
3.2 Expert System Structure .....	52
3.3 Rules in Expert System .....	56
3.4 Relationships between Class, Object, and Property .....	57
4.1 Diagram of Expert System for Diagnostic Power Transformers Fault .....	68
4.2 Location of Control Room and Power Transformers .....	69
4.3 Annunciator panel board of power transformer in control room .....	70
4.4 Relay Annunciator Panel Board in Control Room .....	73
4.5 Examples of An Dialogue Question for Interviewing Domain Experts .....	75
4.6 Knowledge Representation .....	76
4.7 An Example of Expert System Condition .....	77
4.8 An Example of Rules in Knowledge Base .....	78

## FIGURE

4.9	Main Screen of The Expert System .....	79
4.10	An Example of a Question from User Interface of Expert System .....	80
4.11	An Example of a Question from User Interface of Expert System .....	80
4.12	An Example of a Question from User Interface of Expert System .....	81
4.13	Diagnosed Recommendation from Expert System .....	82
A.1	Annunciator .....	100
A.2	Buchholtz Trip .....	101
A.3	Differential Relay Operated .....	102
A.4	Fault Sudden Relay Trip or Sudden Pressure Trip .....	103
A.5	Tx. Pressure Relief Trip .....	104
A.6	LTC Pressure Relay Trip .....	105
A.7	Diverter Switch Pressure Relief Trip .....	106
A.8	KTxA HV OC Relay Operated .....	107
A.9	KtxA LV OC/OCG .....	108
A.10	KTxA Tertiary OCG Relay Operated .....	109
A.11	Buchholtz Alarm .....	110
A.12	Oil Temperature Alarm .....	111
A.13	Winding Temperature Alarm Stage1 .....	112
A.14	Winding Temperature Alarm Stage 2 .....	113

## LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
1.1	Specific Words and Terminology .....	6
2.1	Examples of DGA Test Results .....	19
2.2	The Meaning of Annunciators .....	35
3.1	Examples of Expert System Implementation .....	49
5.1	Testing Condition When Trip Happened .....	85
5.2	Testing Condition When Alarm Happened .....	86
5.3	Testing Condition When Minor Trouble Happened .....	87
5.4	Testing Condition When Multiple Alarm Happened .....	88
C.1	List of Power Transformers in Central Region .....	125
D.1	List of Causes of Abnormal Events .....	132
E.1	List of Power Transformers Fault Events Happened Last 2 Years .....	135
F.1	List of Standard of Work for Power Transformer Maintenance .....	156
F.2	Fixed-Time Preventive Maintenance of Power Transformers .....	157