

การตรวจสอบสภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำโดยวิธีวิเคราะห์ การปล่อยประจุบางส่วน ในขณะที่เดินเครื่อง
เพื่อเพิ่มระดับความพร้อมใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษา

นายสุรพล พุทธิวัฒน์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-306-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ON-LINE PARTIAL DISCHARGE ANALYSIS FOR IMPROVING AVAILABILITY
AND MAINTENANCE OF HYDROELECTRIC GENERATORS**



Mr. Surapon Puthwattana

**A Thesis Submitted in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Engineering Management**

The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 1999

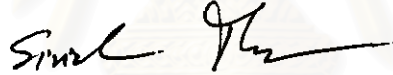
ISBN 974-334-306-7


Thesis Title: On-line Partial Discharge Analysis for Improving Availability and Maintenance of Hydroelectric Generators
By: Mr. Surapon Puthwattana
Department: The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering
Thesis Advisor: Associate Professor Tatchai Sumitra, Dr.Ing.

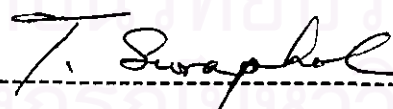
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

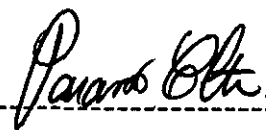

----- Dean of Faculty of Engineering
(Professor Dr. Somsak Panyakeow)

THESIS COMMITTEE


----- Chairman
(Professor Sirichan Thongprasert, Ph.D.)


----- Thesis Advisor
(Associate Professor Tatchai Sumitra, Dr.Ing.)


----- Thesis Co-advisor
(Mr. Tavorn Suraphol)


----- Member
(Assistant Professor Dr. Parames Chutima)

สรุปผล ทุรวัฒน์นะ : การตรวจสอบสภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำโดยวิธีวิเคราะห์ การปล่อยประจุบางส่วนในขณะเดินเครื่อง เพื่อเพิ่มระดับความพร้อมใช้งาน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษา (ON-LINE PARTIAL DISCHARGE ANALYSIS FOR IMPROVING AVAILABILITY AND MAINTENANCE OF HYDROELECTRIC GENERATORS) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. ธัชชัย สุมิตร, อ.ที่ปรึกษา
รวม: นายถาวร สุรพล 141 หน้า, ISBN 974-334-306-7

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอผลการตรวจวัด การปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้น ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ โดยไม่ต้องหยุดเดินเครื่อง รวบรวมผลการวัด ทำการวิเคราะห์และแปลผล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการตรวจสอบมาใช้ช่วยตัดสินใจในการบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการ รวมทั้งกำหนดวิธีการซ่อมปรับปรุง ทำให้เครื่องมีความพร้อมใช้งานสูง

การดำเนินการเริ่มต้นจากการศึกษาโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในส่วนประกอบที่สำคัญอย่างมาก อันได้แก่ระบบฉนวนไฟฟ้าและขดลวด ศึกษาเรื่องปรากฏการณ์ การปล่อยประจุบางส่วนออกมา ซึ่งเกิดขึ้นภายในระบบฉนวนไฟฟ้าอันเป็นสัญญาณ บ่งชี้ สภาพความบกพร่องและความเสียหายของฉนวน การศึกษาได้เน้นถึงการตรวจวัดด้วยวิธีไม่ต้องหยุดเดินเครื่อง ผลของการวัด ถูกนำมาวิเคราะห์และแปลความหมาย โดยมีทฤษฎีและข้อมูลประสพการณ์ที่มีประโยชน์ของผู้เชี่ยวชาญต่างๆใช้อ้างอิงและสนับสนุน การตรวจวัดได้วางแนวทางไว้ 4 เงื่อนไขของการเดินเครื่อง คือ ทำการวัด ในขณะที่เดินเครื่องปกติแต่ไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิยังไม่สูง ทำการวัดขณะจ่ายกระแสไฟฟ้าเต็มพิกัดและอุณหภูมิยังไม่ทันสมัย ทำการวัดขณะจ่ายกระแสตามพิกัดและอุณหภูมิสูง และทำการวัดในขณะที่ลดการจ่ายกระแสเป็นศูนย์ แต่อุณหภูมิยังสูง ผลการวัดดังกล่าวนำมาวิเคราะห์และแปลความหมาย แสดงสัญญาณถึงลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น ในบริเวณที่สำคัญๆอันได้แก่ ความเสียหายที่มีฉนวนของขดลวดในบริเวณต่างๆเช่น บริเวณช่วงปลายขดลวด บริเวณช่วงแกนเหล็ก ตลอดจนถึงบริเวณจุดต่อต่างๆ ความหลวมคลอนของขดลวดที่อยู่ในแกนเหล็ก และความเสียหายที่เกิดภายในเนื้อฉนวนเอง การศึกษาการตรวจวัดและวิเคราะห์ การปล่อยประจุบางส่วน ในขณะที่เดินเครื่องได้เริ่มดำเนินการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ 2 ของโรงไฟฟ้าเขื่อนสิริกิติ์ โดยทำการติดตั้งตัวตรวจจับสัญญาณพิเศษเข้าที่ขดลวดของแต่ละวงจรในแต่ละเฟสทั้งหมด ทำการวัดสัญญาณของการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้น รวบรวมผลการวัด ทำการวิเคราะห์และแปลความหมายผลการวัดทั้งหมด สรุปผลที่ความเสียหายเกิดขึ้นที่มีฉนวนและภายในเนื้อฉนวนเป็นจำนวนมากและถูกนำมาเป็นข้อมูลใช้ในการบำรุงรักษาในวาระต่อมา และเมื่อถึงวาระการบำรุงรักษาดังกล่าว ได้ทำการตรวจสอบพบความเสียหายตามที่วิเคราะห์ไว้จริงและมีเป็นจำนวนมาก การแก้ไขจึงได้ทำการอย่างเหมาะสมและรวดเร็ว เพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษา

ผลของการศึกษานี้ต่อมาได้ถูกนำไปใช้งานในขบวนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำทั้งหมดในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ภาควิชา ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต
สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต Saraporn?
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ. อ. อ.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม T. Suraphol

4071610621 : MAJOR ENGINEERING MANAGEMENT

KEYWORD: PARTIAL DISCHARGE / MEASUREMENT / INTERPRETATION / DETERIORATION / MAINTENANCE

SURAPON PUTHWATTANA : ON-LINE PARTIAL DISCHARGE ANALYSIS FOR IMPROVING AVAILABILITY AND MAINTENANCE OF HYDROELECTRIC GENERATORS THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. TATCHAI SUMITRA Dr.Ing. THESIS COADVISOR : MR. TAVORN SURAPHOL, 141 Pages, ISBN 974-334-306-7

This thesis presents the results of an on line partial discharge measurement on hydroelectric generator. Test data were compiled, analyzed and interpreted. The objective is to apply the interpreted test data into maintenance program in order to increase efficiency of maintenance activities and generator availability.

The activity starts from a study of generator structure at critical parts such as stator winding and insulation system. Study on the phenomena of partial discharge occurred within stator winding insulation, which is a sign of insulation deterioration. The study also deepened into how to measure partial discharge activity without shutdown generator, method of analysis and test data interpretation under theoretical and experiences accumulated by specialist's papers. The four conditions of generator operation are recommended to apply measurement procedure, i.e. no load cold, full load cold, full load hot and no load hot respectively. The test data are interpreted, analyzed and compared to sign of some damaged or deteriorated parts of winding such as surface discharge due to coil surface deterioration, internal discharge due to delaminating within main ground wall insulation, slot discharge due to poor semi-conductor coating and loose wedging. The study of on line partial discharge analysis was set up at generator unit 2 of Sirikit Hydro power plant. Some special couplers were installed into each of parallel path in each phase of winding, then the measurement was taken, and all test data were compiled, analyzed and interpreted. The results showed some deteriorated parts as surface deterioration, internal main ground wall delaminating and high partial discharge activities occurred within the whole part of winding. All interpreted data were applied in planning of next minor inspection of generator unit 2. When period of inspection was started up, visual inspection was done and found some deterioration as defined on testing at the first stage. The suitable repairing method and material required could be prepared in advance, resulting in keeping schedule and efficient maintenance of generator.

The result of this study was put into the maintenance program of all generators of EGAT's Hydro power plants

ภาควิชา ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต
สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต Surapon P.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Tatchai Sumitra
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม T. Suraphol



Acknowledgments

This thesis could not be successful without the great supports of many contributors who have been key in advancing this thesis research to its present stage.

Appreciation is given to Associate Professor Dr. Tatchai Sumitra who is thesis advisor. His guidance and suggestion are very helpful for this thesis research.

I would like to thank indeed Mr. Tavorn Suraphal who is my boss and also thesis co-advisor. He supported me in everything to run the project of this thesis smoothly until finished and has applied this thesis into current work of The Electrical Maintenance Division of EGAT.

Thank also goes to Professor Dr. Sirichan Thongprasert for her kind recommendation is helpful to the thesis.

Many thanks are also given to maintenance people of the Engineering and Testing Section of EGAT where I work. Their help in coupler fabrication and installation were the key to the success of this thesis research. Finally to my family and friends for giving me the great cheer from early stage till to the end of thesis.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

	Pages
ABSTRACT (THAI)	iv
ABSTRACT (ENGLISH)	v
ACKNOWLEDGEMENT	vi
CONTENTS	vii
LIST OF FIGURES	ix
LIST OF TABLES	xii
CHAPTER 1 : INTRODUCTION	1
1.1 Background of Problem	1
1.2 The Main Objective of the Thesis	3
1.3 Scope of Research	4
1.4 Expected Results and Benefit	4
1.5 Research Procedure	5
CHAPTER 2 : LITERATURE SURVEY AND THEORETICAL ASPECTS	6
2.1 Introduction	6
2.2 Power Plant Reliability	6
2.3 Generator Structure	11
2.4 Partial Discharge within Stator Winding Insulation	16
2.5 Method of Partial Discharge Measurement	22
2.6 Literature Survey	31
2.6.1 Experience with On line Generator Partial Discharge Tests	31
2.6.2 Permanent Coupler Capacitor	39
2.6.3 Coupler Installation	39
2.6.4 Coaxial Cable Trimming	42
2.6.5 Partial Discharge Identification of Deterioration Mechanism	43
2.6.6 Experience of Interpretation in Partial Discharge Pulses Output	48

CONTENTS (continue)

	Pages
CHAPTER 3 : MEASURMENT AND ANALYSIS OF ON LINE PARTIAL DISCHARGE OF HYDROELECTRIC GENERATOR UNIT 2 OF SIRIKIT POWER PLANT	54
3.1 Introduction	54
3.2 Partial Discharge Measurement Circuit	56
3.3 Type of Coupler, Coupler Fabrication and Installation	59
3.4 Measurement Procedure	70
3.5 Analysis and Interpretation	74
3.6 Using interpreted results to improve availability and maintenance of hydroelectric generator	76
CHAPTER 4 : RESULTS of TESTING and INTERPRETATION.....	78
The interpretation on No load cold condition	89
The interpretation on Full load cold condition	100
The interpretation on Full load hot condition	111
The interpretation on No load hot condition	122
Interpreted results and recommendation for Minor Inspection period ...	
Minor inspection Sirikit hydro generator unit 2 in November 1998.....	126
CHAPTER 5 : CONCLUSSION AND DISCUSSION	129
5.1 Conclusion	129
5.2 Discussion	131
5.3 Recommendation	132
REFERENCES	134
APPENDIX : Winding diagram and Data test	135
BIOGRAPHY	141

LIST OF FIGURES

	Pages
Figure 2.2.1 Combine Cycle diagram	8
Figure 2.2.2 Typical bath tub for mechanical and Electronic component.....	9
Figure 2.3.1 Hydroelectric Generator	12
Figure 2.3.2 Turbo-Electric Generator	12
Figure 2.3.3 Cross section of Hydroelectric Generator	13
Figure 2.3.4 Stator core	14
Figure 2.3.5 Stator laminated sheet	14
Figure 2.3.6 Cross section of generator stator winding	14
Figure 2.3.7 Rotor	15
Figure 2.4.1 Partial discharge phenomena occurred within solid insulation.....	16
Figure 2.4.2 Two electrode, which have solid and air gap inside.....	17
Figure 2.4.3 Location of partial discharge at slot portion	19
Figure 2.4.4 High electric field strength yields to generate partial discharge.....	20
Figure 2.4.5 Partial discharge around coil-end and jumper	21
Figure 2.5.1 Simple circuit measurement of partial discharge on standstill generator..	23
Figure 2.5.2 Display from conventional dual-channel oscilloscope	24
Figure 2.5.3 On line partial discharge test on generator.....	26
Figure 2.5.4 80 pF coupler sensors are used for picking up the discharge pulse	27
Figure 2.5.5 Conventional measuring unit showing partial discharge	28
Figure 2.5.6 Typical form of on-line partial discharge measurement	28
Figure 2.5.7 Noise pulse from generator	29
Figure 2.6.1 Variation of discharge magnitude with time A.....	32
Figure 2.6.2 Variation of discharge magnitude with time B	33
Figure 2.6.3 Rejection of common mode electrical noise	35

LIST OF FIGURES (CONTINUE)

	Pages
Figure 2.6.4 A discharge measurement	35
Figure 2.6.5 Test data of Barrett chute unit 4	36
Figure 2.6.6 Partial discharge Analyzer test results	37
Figure 2.6.7 Low cost efficient coupler	38
Figure 2.6.8 Loop-type permanent coupler	40
Figure 2.6.9 Open-loop type permanent coupler	40
Figure 2.6.10 Winding diagram of hydroelectric generator	41
Figure 2.6.11 Signal output after trimming	42
Figure 2.6.12 Typical output from the partial discharge test	44
Figure 2.6.13 Sir Adam Beck Niagara unit A test data	49
Figure 2.6.14 Sir Adam Beck Niagara unit B test data	49
Figure 2.6.15 Blenheim unit C test data	50
Figure 2.6.16 Blenheim unit D test data	50
Figure 2.6.17 Long term monitoring of NQN	51
Figure 3.1.1 Procedure of Project	55
Figure 3.2.1 The on line measurement circuit on generator.....	56
Figure 3.2.2 Measuring unit	57
Figure 3.2.3 Output data printout	58
Figure 3.2.4 Output data in form of partial discharge graph	58
Figure 3.3.1 Cross section of XLPE power cable	59
Figure 3.3.2 Fabrication Procedure	60
Figure 3.3.3 39 cm of PVC jacket length of cable	61
Figure 3.3.4 Termination of cable	61
Figure 3.3.5 Complete capacitor coupler without coaxial cable.....	62
Figure 3.3.6 Complete capacitor coupler with coaxial cable.....	62

LIST OF FIGURES (CONTINUE)

	Pages
Figure 3.3.7 Winding diagram of Sirikit generator unit 2	64
Figure 3.3.8 Location for coupler installation	65
Figure 3.3.9 Coupler installation procedure	65
Figure 3.3.10 Coupler was connected directly to circuit ring bus	67
Figure 3.3.11 Injected signal into each phase lead of generator	68
Figure 3.3.12 Output signal before trimming	68
Figure 3.3.13 Output signal after trimming	69
Figure 3.3.14 Measuring instrument	69
Figure 3.3.15 Termination box	69
Figure 3.4.1 Connection of two coaxial cable lead for each condition of testing ...	73
Figure 4.1.1.1 Data measurement of Phase A, parallel 1	80
Figure 4.1.1.2 Data measurement of Phase A, parallel 2	81
Figure 4.1.1.3 Data measurement of Phase A, parallel 3	82
Figure 4.1.1.4 Data measurement of Phase B, parallel 1	83
Figure 4.1.1.5 Data measurement of Phase B, parallel 2	84
Figure 4.1.1.6 Data measurement of Phase B, parallel 3	85
Figure 4.1.1.7 Data measurement of Phase C, parallel 1	86
Figure 4.1.1.8 Data measurement of Phase C, parallel 2	87
Figure 4.1.1.9 Data measurement of Phase C, parallel 3	88
Figure 4.1.2.1 Data measurement of Phase A, parallel 1	91
Figure 4.1.2.2 Data measurement of Phase A, parallel 2	92
Figure 4.1.2.3 Data measurement of Phase A, parallel 3	93
Figure 4.1.2.4 Data measurement of Phase B, parallel 1	94
Figure 4.1.2.5 Data measurement of Phase B, parallel 2	95
Figure 4.1.2.6 Data measurement of Phase B, parallel 3	96

LIST OF FIGURES (CONTINUE)

	Pages
Figure 4.1.2.7 Data measurement of Phase C, parallel 1	97
Figure 4.1.2.8 Data measurement of Phase C, parallel 2	98
Figure 4.1.2.9 Data measurement of Phase C, parallel 3	99
Figure 4.1.3.1 Data measurement of Phase A, parallel 1	102
Figure 4.1.3.2 Data measurement of Phase A, parallel 2	103
Figure 4.1.3.3 Data measurement of Phase A, parallel 3	104
Figure 4.1.3.4 Data measurement of Phase B, parallel 1	105
Figure 4.1.3.5 Data measurement of Phase B, parallel 2	106
Figure 4.1.3.6 Data measurement of Phase B, parallel 3	107
Figure 4.1.3.7 Data measurement of Phase C, parallel 1	108
Figure 4.1.3.8 Data measurement of Phase C, parallel 2	109
Figure 4.1.3.9 Data measurement of Phase C, parallel 3	110
Figure 4.1.4.1 Data measurement of Phase A, parallel 1	113
Figure 4.1.4.2 Data measurement of Phase A, parallel 2	114
Figure 4.1.4.3 Data measurement of Phase A, parallel 3	115
Figure 4.1.4.4 Data measurement of Phase B, parallel 1	116
Figure 4.1.4.5 Data measurement of Phase B, parallel 2	117
Figure 4.1.4.6 Data measurement of Phase B, parallel 3	118
Figure 4.1.4.7 Data measurement of Phase C, parallel 1	119
Figure 4.1.4.8 Data measurement of Phase C, parallel 2	120
Figure 4.1.4.9 Data measurement of Phase C, parallel 3	121
Figure 4.2 Loose of coils	124
Figure 4.3.1 A lot of surface discharges occurred within end winding	126

LIST OF TABLES

	Pages
Chart I Partial Discharge Analysis NQN Insulation Damage Relationships for Polyester and Epoxy Insulation system	52
Chart II Partial Discharge Analysis NQN Insulation Damage Relationships for Asphalt-Mica and Mica folium Insulation system	53



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย