# วิธีหาสมมูลพลวัตเพื่อศึกษาเสถียรภาพชั่วครู่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

นาย ตระการ ด่านกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-791-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016134

# A METHOD TO DERIVE DYNAMIC EQUIVALENT FOR TRANSIENT STABILITY STUDIES OF ELECTRICAL POWER SYSTEM

Mr. Trakan Dankul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1989

ISBN 974-569-791-5

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | |
|---|---|
| Thesis Title | A Method to Derive Dynamic Equivalent for Transient Stability Studies of Electrical Power System |
| By | Mr. Trakan Dankul |
| Department | Electrical Engineering |
| Thesis Advisor | Professor Torsten Johansson |
| Co-Advisor | Assoc. Prof. Dr. Sukhumvit Phoomvuthisarn |

---

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

Thavorn Vajrabhaya ..... Dean of Graduate School

( Prof. Dr. Thavorn Vajrabhaya )

Thesis Committee

Prasit Pittayapat ..... Chairman

( Asst. Prof. Prasit Pittayapat )

Torsten Johansson ..... Thesis Advisor

( Prof. Torsten Johansson )

S. Phoomvuthisarn ..... Co-Advisor

( Assoc. Prof. Dr. Sukhumvit Phoomvuthisarn )

Chaiya Chamchoy ..... Member

( Mr. Chaiya Chamchoy )

Gunchat Sangmanee ..... Member

( Mr. Gunchat Sangmanee )

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตระการ ด่านกุล : วิธีหาสมมูลพลวัตเพื่อศึกษาเสถียรภาพชั่วครู่ของระบบไฟฟ้ากำลัง
(A METHOD TO DERIVE DYNAMIC EQUIVALENT FOR TRANSIENT STABILITY STUDIES OF ELECTRICAL POWER SYSTEM)
อ.ที่ปรึกษา : PROF. TORSTEN JOHANSSON
อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร, 170 หน้า

ในการศึกษาเสถียรภาพชั่วครู่ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ และมีความสลับซับซ้อนจำเป็นต้องใช้เวลาและหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการคำนวณที่ค่อนข้างสูง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีในการหาสมมูลพลวัตเพื่อใช้ในการศึกษาเสถียรภาพชั่วครู่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์ คือการพัฒนาวิธีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถลดขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ และลดเวลาที่ใช้ในการศึกษาข้างต้น จากการทดสอบวิธีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยใช้ระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่าขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังและเวลาที่ใช้ในการศึกษาเสถียรภาพชั่วครู่ลดลงประมาณ 1/2 - 1/10 และ 70% -90% ตามลำดับ โดยที่คุณสมบัติทั้งแบบสถิตและพลวัตของระบบไฟฟ้ากำลังที่ลดขนาด ยังคงใกล้เคียงกับคุณสมบัติของระบบไฟฟ้าก่อนลดขนาดทุกประการ พร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบไว้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต Trakan Dankul
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MR.TRAKAN DANKUL: A METHOD TO DERIVE DYNAMIC EQUIVALENT FOR TRANSIENT STABILITY STUDIES OF ELECTRICAL POWER SYSTEM.
THESIS ADVISOR : PROF. TORSTEN JOHANSSON
CO-ADVISOR : ASSOC.PROF.DR. SUKHUMVIT PHOOMVUTHISARN, 170 PP.

This thesis presents a method to derive dynamic equivalents for transient stability studies of electrical power system. The increased size and complexity of electrical power system models, in conjunction with the need to perform simulations over longer time periods, requires large blocks of computer memory to perform transient stability studies with resulting long computation times. As a result, the cost of running transient stability studies represents a sizable expenditure by utilities.

The purpose of this thesis has been the development of a method and a computer program by which a large-scale system model can be reduced into a smaller equivalent model for use in transient stability studies. The method has been demonstrated and validated by comparison of the results from computer calculations of the dynamic performance of the full-scale and the reduced version of EGAT power system.

The computer program accepts a normal transient stability database as input, develops an equivalent that is a fraction of the size of the full system representation, while adequately retaining the dynamic characteristics of the full system. Test results have shown that, the reduced system is 1/2 to 1/10 the size of the original system representation, thereby offering 70% to 90 % saving in the time of computation studies while maintaining adequate study accuracy.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต Trakan Dankul
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Torsten Johansson
ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม S. Phoomvuthisarn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to express his grateful appreciation to Prof. Torsten Johansson (Visiting Professor) for his valuable supervision and guidance during the preparation of this thesis. The author also wishes to express his appreciation to Mr. Prasart Payackapan, Director of Transmission System Maintenance Department and Mr. Kumphui Jirararuensak, Division Head of Substation Maintenance 2 for giving opportunity to do graduate studies in Electrical Engineering Field.

Thanks are also extended to Assoc. Prof. Dr. Sukhumvit Phoomvuthisarn, Asst. Prof. Prasit Pittayapat and Mr. Chaiya Chamchoy for their valuable suggestion.

Finally, The author would also like to thank Mr. Gunchat Sangmanee, Mr. Wiriya Charoensinlapa ,Mr. Watson Chansajcha and Miss Supatra Indrbhakdi for all their helpful assistance.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Contents


| | Page |
|---|---|
| Abstracts (Thai) ..... | IV |
| Abstracts (English) ..... | V |
| Acknowledgement ..... | VI |
| List of Tables ..... | X |
| List of Figures ..... | XI |
| Chapter | |
| 1 Dynamic Equivalents ..... | 1 |
| 1.1 Introduction ..... | 1 |
| 1.2 What are Dynamic Equivalents ..... | 1 |
| 1.3 Why use Dynamic Equivalents ..... | 3 |
| 1.4 The Method for Calculating Dynamic Equivalents .... | 4 |
| 1.4.1 Dynamic Equivalents Based-on Eigenvalues ... | 4 |
| 1.4.2 Dynamic Equivalents Based-on Coherent ..... Generator ..... | 5 |
| 1.5 The Adapted Method ..... | 6 |
| 1.6 Application and the Benefits ..... | 7 |
| 2 Network Reduction ..... | 9 |
| 2.1 Introduction ..... | 9 |
| 2.2 The Connection to the Network of Equivalent Generator ..... | 9 |
| 2.2.1 The Network Description ..... | 9 |
| 2.2.2 The Derivation of the Equivalent Generator.. Buses ..... | 10 |
| 2.2.3 How to Preserve the Power Flows ..... | 13 |
| 2.2.4 Summary of the Equivalent ..... | 15 |
| 2.3 Reduction of Passive Network ..... | 16 |
| 2.4 The Nonlinearities of Parameters in the Network ... | 18 |

Contents


| | Page |
|---|---|
| 3 Dynamic Aggregation of Generating Unit Models ..... | 19 |
| 3.1 Introduction ..... | 19 |
| 3.2 Rotor Dynamics..... | 21 |
| 3.3 Magnetic Circuits of the Synchornous Machine ..... | 22 |
| 3.3.1 Equivalent Machine Time Constants ..... | 23 |
| 3.3.2 Equivalent Machine Reactances ..... | 24 |
| 3.3.3 Saturation of the Magnetic Circuits of Equivalent Machine ..... | 25 |
| 3.4 Turbine and Governing Systems ..... | 26 |
| 3.5 Excitation Systems ..... | 30 |
| 3.6 The Other Control Equipments ..... | 33 |
| 4 Model of the Reduced Network for Dynamic Studies ..... | 34 |
| 4.1 Introduction ..... | 34 |
| 4.2 Methodology to Compose the Models ..... | 34 |
| 4.2.1 Definition of the Studies System ..... | 34 |
| 4.2.2 Accounting for Different of Faults ..... | 35 |
| 4.2.3 Coherent Generators ..... | 37 |
| 4.3 Program Description ..... | 37 |
| 5 Tests on Power System ..... | 40 |
| 5.1 The Description of the Test System ..... | 40 |
| 5.2 Tests on Power System ..... | 40 |
| 5.2.1 Load Flow Calculation on the Actual System . | 42 |
| 5.2.2 Short Circuit Calculation on the Actual System ..... | 43 |
| 5.2.3 Transient Stability Studies on the Actual System ..... | 44 |
| 5.2.4 Tests on the Reduced System ..... | 45 |
| 5.2.5 Load Flow Calculation on the Reduced System. | 46 |
| 5.2.6 Short Circuit Calculation on the Reduced System ..... | 48 |

Contents


| | Page |
|---|---|
| 5.2.7 Transient Stability Studies on the Reduced System ..... | 49 |
| 5.3 Discussion ..... | 50 |
| 6 Conclusions ..... | 54 |
| 6.1 Accomplishment ..... | 54 |
| 6.2 Recommendation ..... | 55 |
| References ..... | 56 |
| Appendix 1 Source Program Listing ..... | 58 |
| Appendix 2 Block Diagrams of Control Equipment ..... | 88 |
| Appendix 3 Results of Transient Stability Simulation .... | 97 |
| Appendix 3.1 Results of Transient Stability Simulation Case No. 1 ..... | 99 |
| Appendix 3.2 Results of Transient Stability Simulation Case No. 2 ..... | 109 |
| Appendix 3.3 Results of Transient Stability Simulation Case No. 3 ..... | 119 |
| Appendix 3.4 Results of Transient Stability Simulation Case No. 4 ..... | 129 |
| Appendix 3.5 Results of Transient Stability Simulation Case No. 5 ..... | 142 |
| Appendix 4 Load Flow Solutions ..... | 152 |
| Appendix 4.1 Load Flow Solutions Case No. 1 . | 154 |
| Appendix 4.2 Load Flow Solutions Case No. 2 . | 162 |
| VITA ..... | 170 |

# List of Tables


| | | Page |
|---|---|---|
| Table 2.1 | Summary of the equivalent ..... | 15 |
| Table 5.1 | Power flows in transmission line (tie lines) in the actual system ..... | 43 |
| Table 5.2 | Short circuits current and power in the actual system ..... | 44 |
| Table 5.3 | Power flows in transmission lines (tie lines) in the reduced system ..... | 48 |
| Table 5.4 | Short circuits current and power in the reduced system ..... | 49 |
| Table 5.5 | The difference of power flows in tie lines between the actual and reduced system ..... | 50 |
| Table 5.6 | The difference of short circuit current and power between the actual and reduced system .... | 51 |
| Table 5.7 | Size comparison between the actual and reduced system..... | 52 |
| Table 5.8 | CPU time comparison between the actual and reduced system ..... | 53 |
| Table 5.9 | Conclusion of stability studies ..... | 53 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



List of Figures


| | | Page |
|---|---|---|
| Figure 1 | The swing curves for a coherent generators ..... | 2 |
| Figure 2.1 | The connection to network of the generator buses in the actual system ..... | 10 |
| Figure 2.2 | Implementation of phase shifting transformer ... | 11 |
| Figure 2.3 | The connection to network of the equivalent generator ..... | 13 |
| Figure 3.1 | Generating unit model ..... | 20 |
| Figure 3.2 | The saturation of magnetic circuits ..... | 25 |
| Figure 3.3 | The model of governor-turbine (type SG1 + HT1) . | 28 |
| Figure 3.4 | The model of the excitation system type 12 ..... | 31 |
| Figure 4.1 | The sub-studied system of EGAT ..... | 36 |
| Figure 4.2 | Flow chart of dynamic equivalent program ..... | 39 |
| Figure 5.1 | A map showing the geographical extent and the principle transmission lines of EGAT power system | 41 |
| Figure 5.2 | A map showing the capacity of equivalent generator and simplified network of reduced system | 47 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย