

การสังเคราะห์แบบประสานในการหาค่าตัวแปรของสเตปีไลเซอร์  
ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง



นาย อรุณ หัตถะรัชต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

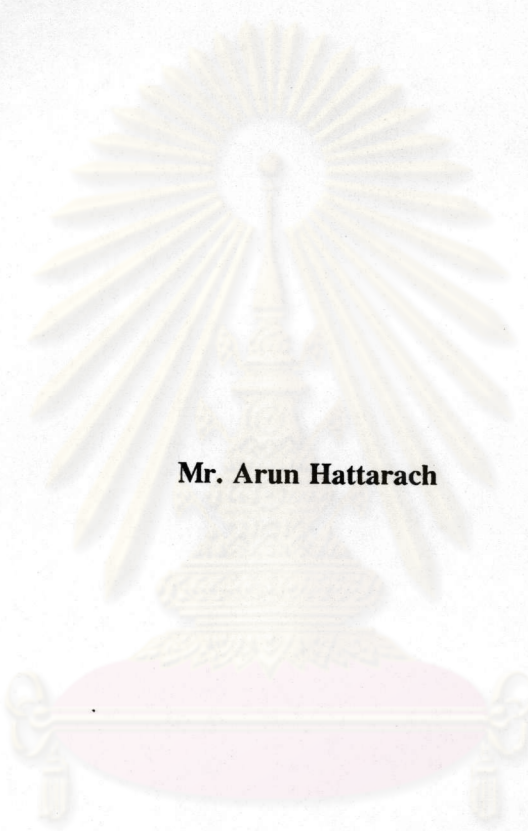
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-284-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**COORDINATED SYNTHESIS OF PARAMETERS OF  
POWER SYSTEM STABILIZERS IN MULTIMACHINE SYSTEM**



**Mr. Arun Hattarach**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Engineering**

**Department of Electrical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**1996**

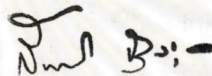
**ISBN 974-633-284-8**



หัวข้อวิทยานิพนธ์      การสังเคราะห์แบบประสานในการหาค่าตัวแปรของสเตบิลไลเซอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง  
โดย                              นาย อรุณ หัตถะรัชต์  
ภาควิชา                        วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา            รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      ดร. ทรงศักดิ์ ชุมนพิพัฒน์

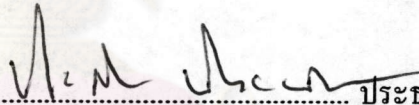
---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

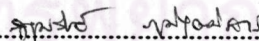


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสุวรรณ )

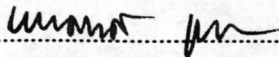
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ )



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร )



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
( ดร. ทรงศักดิ์ ชุมนพิพัฒน์ )



..... กรรมการ  
( ดร. บัณฑิต เอื้ออากรณ์ )



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



อรุณ หัตถะรัชต์ : การสังเคราะห์แบบประสานในการหาค่าตัวแปรของสแตบิไลเซอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง (COORDINATED SYNTHESIS OF PARAMETERS OF POWER SYSTEM STABILIZERS IN MULTIMACHINE SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวิมลสาร, 82 หน้า ISBN 974-633-284-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอวิธีการและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่คำนวณหาค่าตัวแปรของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง ซึ่งสามารถนำไปปรับให้ระบบมีเสถียรภาพเชิงไดนามิกตามที่กำหนดได้

วิทยานิพนธ์นี้ได้แสดงถึงการนำเอาแบบจำลองชนิดเชิงเส้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง โหลด อุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ ระบบเอกไซเตชัน และอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันเข้ามาสร้างแบบจำลองสเปซของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงไดนามิกของระบบ และคำนวณหาค่าตัวแปรของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ ซึ่งจะใช้ชนิดที่มีสัญญาณเข้าเป็นความเร็วโรเตอร์ โดยได้แสดงผลการคำนวณจากระบบจ่ายไฟฟ้าตัวอย่างที่จำลองขึ้นมา

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาภายในโปรแกรมแมทแล็บ เวอร์ชัน 4.0 โดยจัดทำเป็นฟังก์ชันใหม่เพิ่มเติมขึ้นมาจากฟังก์ชันเดิมที่มีอยู่ปกติ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่ใช้ตัวประมวลผลของอินเทล รุ่น 80386 ขึ้นไป ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เวอร์ชัน 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....  
สาขาวิชา ..... ไฟฟ้ากำลัง .....  
ปีการศึกษา 2538 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... อรุณ หัตถะรัชต์ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... สุขุมวิทย์ ภูมิวิมลสาร .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... สุขุมวิทย์ ภูมิวิมลสาร .....  
.....





## C515425 : MAJOR ELECTRICAL POWER SYSTEM  
KEY WORD: SYNTHESIS / PARAMETERS / STABILIZERS / MULTIMACHINE

ARUN HATTARACH : COORDINATED SYNTHESIS OF PARAMETERS OF POWER SYSTEM STABILIZERS IN MULTIMACHINE SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUKUMVIT PHOOMVUTHISAN, Ph. D. 82 pp. ISBN 974-633-284-8

This thesis has the objective to present a calculation method and computer program to determine parameters of power system stabilizers in a multimachine electrical power system which will be tuned to achieve the assigned dynamic stability.

This thesis has demonstrated the procedure to construct state space model of the electrical power system from the linearized models of the following equipment: generator, load, transmission line, power system stabilizer, excitation system and terminal voltage transducer. Then, dynamic stability of the system and power system stabilizers parameters will be calculated from the state space model. Input of the power system stabilizers in this thesis are rotor speed. A test result from simulated electrical power system is shown.

A computer program is developed from MATLAB program. The number of new functions for this thesis are added in the set of existing functions. The program requires at least Intel 80386 processor computer with Window 3.1 operating system for processing.

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา..... ไฟฟ้ากำลัง  
ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต..... 0501 ๒๓๐๒๒๕๐๔  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒน์ ภูมวิฑูริศ  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... น.น.น.น. น.น.น.น.

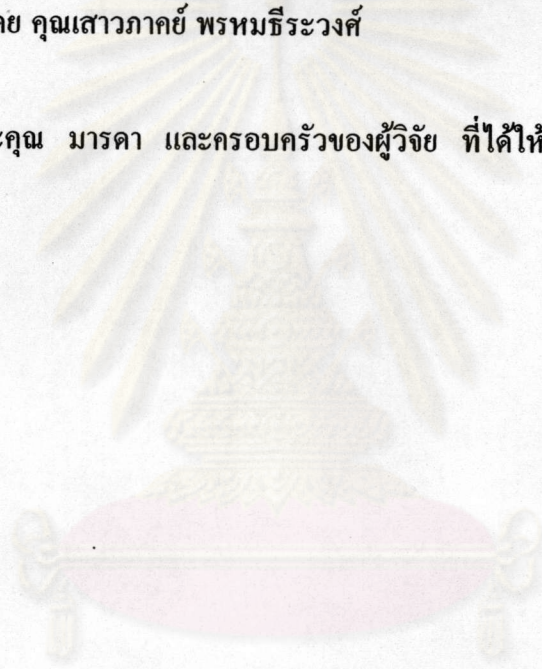




กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำ, ข้อเสนอแนะ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. ทรงศักดิ์ ชุมนพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และกรรมการทุกท่าน และขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำ, ข้อมูล และกำลังใจมาโดยตลอด รวมถึงการพิมพ์ต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้โดย คุณเสาวภาคย์ พรหมธีระวงศ์

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ มารดา และครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านจนสามารถสำเร็จการศึกษาได้



ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญตาราง.....  | ญ    |
| สารบัญรูปภาพ.....   | ฐ    |
| สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์.....   | ฅ    |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำและที่มาของปัญหา.....   | 1    |
| 2. การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงไดนามิกของระบบไฟฟ้ากำลัง.....                                 | 3    |
| 2.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงไดนามิกของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้สเตทสเปซ.....                  | 3    |
| 2.2 การคำนวณหาค่าตัวแปรของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์โดยวิธีต่าง ๆ.....                           | 5    |
| 3 แบบจำลองอุปกรณ์ต่างๆ.....   | 7    |
| 3.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....   | 8    |
| 3.2 แบบจำลองสายส่งและโหลดของระบบไฟฟ้ากำลัง.....   | 14   |
| 3.3 แบบจำลองอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์.....  | 15   |
| 3.4 แบบจำลองระบบเอกไซเตชัน.....   | 16   |
| 3.5 แบบจำลองอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันชั่ว.....   | 19   |
| 3.6 แบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของโรเตอร์.....  | 20   |
| 4. การหาสเตทสเปซ.....   | 22   |
| 4.1 ตัวแปรสถานะ.....  | 22   |
| 4.2 สมการสถานะของความเร็วโรเตอร์.....   | 24   |
| 4.3 สมการสถานะของมุมโรเตอร์.....  | 25   |
| 4.4 สมการสถานะของแหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉาก<br>ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... | 25   |
| 4.4.1 แบบจำลองชนิดที่ 2 และ 4.....  | 25   |
| 4.4.2 แบบจำลองชนิดที่ 3 และ 5.....  | 26   |
| 4.5 สมการสถานะของระบบเอกไซเตชัน.....  | 27   |
| 4.6 สมการสถานะของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์.....   | 28   |



## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 4.7 การหา เมตริกซ์ A และ เมตริกซ์ B.....   | 29   |
| 5. การคำนวณค่าตัวแปรของอุปกรณ์สเตบิลไลเซอร์.....   | 41   |
| 6. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าตัวแปรของอุปกรณ์สเตบิลไลเซอร์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....                            | 47   |
| 6.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ.....   | 47   |
| 6.2 ผลการคำนวณ.....  | 51   |
| 6.3 สรุปผล.....  | 54   |
| 6.4 ข้อเสนอแนะ.....  | 54   |
| รายการอ้างอิง.....   | 55   |
| ภาคผนวก ก. การใช้โปรแกรมสำหรับคำนวณหาสเปคเตสเปซ และค่าตัวแปรของอุปกรณ์<br>สเตบิลไลเซอร์.....                 | 58   |
| ก.1 การใส่ข้อมูล.....  | 58   |
| ก.2 รูปแบบของข้อมูล.....   | 59   |
| ก.2.1 รูปแบบข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....  | 59   |
| ก.2.2 รูปแบบข้อมูลระบบเอกไซเตชั่น.....   | 61   |
| ก.2.3 รูปแบบข้อมูลของโหลดโพลี.....   | 61   |
| ก.2.4 รูปแบบข้อมูลของบัสแอนด์มิทเตนซ์เมตริกซ์ของระบบไฟฟ้า.....   | 62   |
| ก.2.5 รูปแบบข้อมูลของอุปกรณ์สเตบิลไลเซอร์.....   | 62   |
| ก.2.6 รูปแบบข้อมูลของค่าเจาะจงของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ.....  | 63   |
| ก.2.7 รูปแบบข้อมูลของค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์สเตบิลไลเซอร์<br>ที่จะใช้ในการคำนวณตามวิธีของ นิวตัน-ราล์ฟสัน..... | 63   |
| ก.2.8 รูปแบบข้อมูลจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่จะติดตั้ง<br>อุปกรณ์สเตบิลไลเซอร์.....                    | 64   |
| ก.3 การแก้ไขข้อมูล.....  | 65   |
| ก.4 การเรียกใช้โปรแกรม.....  | 65   |
| ภาคผนวก ข. รายละเอียดโปรแกรมการคำนวณ.....  | 67   |
| ข.1 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการหาสเปคเตสเปซ.....   | 67   |



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|   |    |
|---|----|
| ข.2 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการหาตัวแปรของอุปกรณ์สเตอริไลเซอร์..... | 69 |
| ภาคผนวก ค. รายละเอียดของโปรแกรม.....                            | 71 |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 82 |



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญรูปภาพ

หน้า

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 3.1  | แบบจำลองโดยทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุม.....   | 7  |
| รูปที่ 3.2  | วงจรสมมูลในแนวแกนตรง และแนวแกนตั้งฉากของ<br>เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดที่ 2, 3, 4 และ 5.....        | 10 |
| รูปที่ 3.3  | บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์เชิงไดนามิกในแนวแกนตรง.....   | 11 |
| รูปที่ 3.4  | บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์เชิงไดนามิกในแนวแกนตั้งฉาก.....                                     | 11 |
| รูปที่ 3.5  | บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์เชิงไดนามิกในแนวแกนตั้งฉาก<br>ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดที่ 3.....  | 13 |
| รูปที่ 3.6  | บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์เชิงไดนามิกในแนวแกนตรง<br>ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดที่ 2 และ 4..... | 13 |
| รูปที่ 3.7  | บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์เชิงไดนามิกในแนวแกนตั้งฉาก<br>ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดที่ 4.....   | 14 |
| รูปที่ 3.8  | วงจรสมมูลของโหลด.....  | 14 |
| รูปที่ 3.9  | แบบจำลองของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ที่สัญญาณเข้าชนิดต่าง ๆ.....                                       | 15 |
| รูปที่ 3.10 | แบบจำลองอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ซึ่งใช้ความเร็วโรเตอร์เป็นสัญญาณเข้า.....                             | 16 |
| รูปที่ 3.11 | แบบจำลองอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....                                 | 16 |
| รูปที่ 3.12 | แบบจำลองไม่เชิงเส้นของระบบเอกไซเตรัน.....  | 18 |
| รูปที่ 3.13 | แบบจำลองทั่วไปของระบบเอกไซเตรัน.....   | 19 |
| รูปที่ 3.14 | แบบจำลองอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันขั้ว.....  | 20 |
| รูปที่ 3.15 | แบบจำลองเชิงเส้นของอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันขั้ว.....   | 20 |
| รูปที่ 3.16 | แบบจำลองเชิงไดนามิกของการเคลื่อนที่ของโรเตอร์.....   | 20 |
| รูปที่ 4.1  | แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปของระบบเอกไซเตรันที่จัดใหม่.....   | 27 |
| รูปที่ 4.2  | แบบจำลองของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ที่จัดรูปใหม่.....   | 28 |
| รูปที่ 4.3  | มุมระหว่างแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแกนอ้างอิงของ<br>ระบบจากสมการ โนด.....               | 32 |
| รูปที่ 4.4  | มุมระหว่างแกนอ้างอิงของระบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแรงดันขั้ว.....                               | 32 |
| รูปที่ 6.1  | ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ.....   | 47 |



สารบัญตาราง

หน้า

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| ตารางที่ 3.1 | รายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ.....                  | 9  |
| ตารางที่ 3.2 | เงื่อนไขของค่าคงตัวทางเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ.....  | 9  |
| ตารางที่ 3.3 | ค่าคงตัวในสมการไดนามิกในแนวแกนตรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....     | 12 |
| ตารางที่ 3.4 | ค่าคงตัวในสมการไดนามิกในแนวแกนตั้งฉากของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... | 12 |
| ตารางที่ 3.5 | รายละเอียดของระบบเอกไซเตรชั่นชนิดต่างๆ.....                     | 17 |
| ตารางที่ 3.6 | ค่าคงตัวของระบบเอกไซเตรชั่นชนิดต่างๆ.....                       | 19 |
| ตารางที่ 4.1 | ค่าของ $rx$ และ $E'_m$ .....                                    | 31 |
| ตารางที่ 6.1 | ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ.....                     | 48 |
| ตารางที่ 6.2 | ข้อมูลของระบบเอกไซเตรชั่นที่ใช้ทดสอบ.....                       | 49 |
| ตารางที่ 6.3 | ข้อมูลการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ.....    | 49 |
| ตารางที่ 6.4 | ข้อมูลอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ที่ใช้ทดสอบ.....                       | 49 |
| ตารางที่ 6.5 | ข้อมูลบัลเบ็คมิทแดนซ์เมตริกซ์ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ.....       | 50 |
| ตารางที่ 6.6 | ข้อมูลของค่าเงาะงที่ต้องการ.....                                | 50 |
| ตารางที่ 6.7 | ค่าเงาะงของระบบก่อนติดตั้งอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์.....              | 51 |
| ตารางที่ 6.8 | ค่าตัวแปรของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ที่คำนวณได้.....                 | 52 |
| ตารางที่ 6.9 | ค่าเงาะงของระบบหลังจากติดตั้งอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์.....           | 53 |
| ตารางที่ ก.1 | รูปแบบข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....                          | 60 |
| ตารางที่ ก.2 | รูปแบบข้อมูลของระบบเอกไซเตรชั่น.....                            | 61 |
| ตารางที่ ก.3 | รูปแบบข้อมูลของโหลดโพลว์.....                                   | 62 |
| ตารางที่ ก.4 | รูปแบบข้อมูลของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์.....                         | 63 |
| ตารางที่ ก.5 | รูปแบบข้อมูลของค่าเริ่มต้นอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์.....              | 64 |





### สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| $K_S$          | = | สัมประสิทธิ์ของการซิงโครไนซ์ (Synchronizing Coefficient)  |
| $K_D$          | = | สัมประสิทธิ์ของการหน่วง (Damping Coefficient)   |
| $T_M$          | = | แรงบิดเชิงกล (Mechanical Torque)  |
| $T_S$          | = | แรงบิดซิงโครไนซ์ (Synchronizing Torque)   |
| $T_D$          | = | แรงบิดหน่วง (Damping Torque)  |
| $T_e$          | = | แรงบิดไฟฟ้า (Electrical Torque)   |
| $T_x$          | = | แรงบิดจากภายนอกที่มากระทำกับโรเตอร์   |
| $\omega_B$     | = | ความถี่เชิงไฟฟ้าระบุ (Nominal Electrical Frequency)   |
| $\delta$       | = | มุมโรเตอร์ (Rotor Angle)  |
| $\omega$       | = | ความเร็วเชิงมุม   |
| $\lambda_D$    | = | ฟลักซ์คัลลิ่ง (Flux Linkage) ในแนวแกนตรง (Direct Axis) ของสเตเตอร์ (Stator)   |
| $\lambda'_D$   | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตรงของสเตเตอร์ในช่วงทรานเซียนต์ (transient)  |
| $\lambda''_D$  | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตรงของสเตเตอร์ในช่วงซับทรานเซียนต์ (Subtransient)  |
| $\lambda_Q$    | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตั้งฉาก (Quadrature Axis) ของสเตเตอร์  |
| $\lambda'_Q$   | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์ในช่วงทรานเซียนต์  |
| $\lambda''_Q$  | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์ในช่วงซับทรานเซียนต์   |
| $\lambda_{FD}$ | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตรงของโรเตอร์ ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากกระแสของวงจรสนาม (Field Circuit)   |
| $\lambda_{SD}$ | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตรงของโรเตอร์ ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากกระแสของวงจรซับทรานเซียนต์ในแนวแกนตรง (Direct Axis Subtransient Circuit)             |
| $\lambda_{FQ}$ | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์ ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากกระแสของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉาก (Quadrature Axis Equivalent Circuit)            |
| $\lambda_{SQ}$ | = | ฟลักซ์คัลลิ่งในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์ ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากกระแสของวงจรซับทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉาก (Quadrature Axis Subtransient Circuit) |



|          |   |   |
|----------|---|---|
| $L_{MD}$ | = | ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance) ของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงของโรเตอร์                             |
| $L_{FD}$ | = | ความเหนี่ยวนำซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่ว (Leakage Flux) ของวงจรสนาม                                    |
| $L_{SD}$ | = | ความเหนี่ยวนำซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่ว ของวงจรขั้วทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์               |
| $L_{MQ}$ | = | ความเหนี่ยวนำร่วมของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์  |
| $L_{FQ}$ | = | ความเหนี่ยวนำร่วมซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์                      |
| $L_{SQ}$ | = | ความเหนี่ยวนำร่วมซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรขั้วทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์            |
| $L_A$    | = | ความเหนี่ยวนำซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรสมมูลในแนวแกนตรง และวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์ |
| $X_{MD}$ | = | รีแอกแตนซ์ร่วม (Mutual Reactance) ของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงของโรเตอร์                                 |
| $X_{FD}$ | = | รีแอกแตนซ์ซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรสนาม   |
| $X_{SD}$ | = | รีแอกแตนซ์ซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรขั้วทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์                   |
| $X_{MQ}$ | = | รีแอกแตนซ์ร่วมของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์   |
| $X_{FQ}$ | = | รีแอกแตนซ์ซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์                             |
| $X_{SQ}$ | = | รีแอกแตนซ์ซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรขั้วทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์                   |
| $X_A$    | = | รีแอกแตนซ์ซึ่งพิจารณาจากฟลักซ์รั่วของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์                            |
| $X_d$    | = | รีแอกแตนซ์ของวงจรสมมูลแนวแกนตรงของสเตเตอร์  |
| $X'_d$   | = | ทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ของวงจรสมมูลแนวแกนตรงของสเตเตอร์   |
| $X''_d$  | = | ขั้วทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ของวงจรสมมูลแนวแกนตรงของสเตเตอร์   |
| $X'_q$   | = | ทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์   |
| $X''_q$  | = | ขั้วทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์                                       |
| $X_q$    | = | รีแอกแตนซ์ของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์  |
| $R_A$    | = | ความต้านทานของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงและวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์                            |
| $R_{FD}$ | = | ความต้านทานของวงจรสนาม  |



|          |   |  |
|----------|---|--|
| $R_{SD}$ | = | ความต้านทานของวงจรขับทรานเซียนต์ในแนวแกนตรงของโรเตอร์                                      |
| $R_{FQ}$ | = | ความต้านทานของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์   |
| $R_{SQ}$ | = | ความต้านทานของวงจรขับทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์                                  |
| $I_{FD}$ | = | กระแสของวงจรสนาม   |
| $I_{SD}$ | = | กระแสของวงจรขับทรานเซียนต์ในแนวแกนตรงของโรเตอร์  |
| $I_{FQ}$ | = | กระแสของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์   |
| $I_{SQ}$ | = | กระแสของวงจรขับทรานเซียนต์ในแนวแกนตั้งฉากของโรเตอร์  |
| $I_D$    | = | กระแสของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ                           |
| $I_Q$    | = | กระแสของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ                       |
| $E_D$    | = | แรงดันที่ขั้วของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ                   |
| $E_Q$    | = | แรงดันที่ขั้วของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ               |
| $E'_D$   | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตรง ในช่วงทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ            |
| $E''_D$  | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตรง ในช่วงขับทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ         |
| $E'_Q$   | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉาก ในช่วงทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ        |
| $E''_Q$  | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉาก ในช่วงขับทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของระบบ     |
| $I_d$    | = | กระแสของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า             |
| $I_q$    | = | กระแสของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า         |
| $E_d$    | = | แรงดันที่ขั้วของวงจรสมมูลในแนวแกนตรงของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า     |
| $E_q$    | = | แรงดันที่ขั้วของวงจรสมมูลในแนวแกนตั้งฉากของสเตเตอร์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า |



|            |   |   |
|------------|---|---|
| $E'_d$     | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตรง ในช่วงทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า                                       |
| $E''_d$    | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตรง ในช่วงซับทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า                                    |
| $E'_q$     | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉาก ในช่วงทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า                                   |
| $E''_q$    | = | แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉาก ในช่วงซับทรานเซียนต์เทียบกับแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า                                |
| $T'_{d0}$  | = | ค่าคงตัวทางเวลาชนิดวงจรเปิดของวงจรสมมูลแนวแกนตรง ในช่วงทรานเซียนต์ (Direct Axis Transient Open Circuit Time Constant)               |
| $T''_{d0}$ | = | ค่าคงตัวทางเวลาชนิดวงจรเปิดของวงจรสมมูลแนวแกนตรง ในช่วงซับทรานเซียนต์ (Direct Axis Subtransient Open Circuit Time Constant)         |
| $T'_{q0}$  | = | ค่าคงตัวทางเวลาชนิดวงจรเปิดของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉาก ในช่วงทรานเซียนต์ (Quadrature Axis Transient Open Circuit Time Constant)       |
| $T''_{q0}$ | = | ค่าคงตัวทางเวลาชนิดวงจรเปิดของวงจรสมมูลแนวแกนตั้งฉาก ในช่วงซับทรานเซียนต์ (Quadrature Axis Subtransient Open Circuit Time Constant) |
| H          | = | ค่าสัมประสิทธิ์แห่งความเฉื่อย (Inertia Constant)  |
| D          | = | ค่าสัมประสิทธิ์แห่งการหน่วง (Damping Coefficient)   |

#### สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ของระบบเอกไซเตชัน (Excitation System)

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| $T_R$     | = | ค่าคงตัวทางเวลาของฟิลเตอร์ของอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันขั้ว          |
| $K_A$     | = | อัตราขยายของอุปกรณ์ปรับแรงดัน (Voltage Regulator)              |
| $T_A$     | = | ค่าคงตัวทางเวลาของอุปกรณ์ปรับแรงดัน                            |
| $V_R$     | = | แรงดันด้านออกของอุปกรณ์ปรับแรงดัน                              |
| $K_E$     | = | อัตราขยายของเอกไซเตอร์ (Exciter)                               |
| $T_E$     | = | ค่าคงตัวทางเวลาของเอกไซเตอร์                                   |
| $E_{FD}$  | = | แรงดันสนาม (Field Voltage)                                     |
| $K_F$     | = | อัตราขยายของสเตบิไลเซอร์ของระบบเอกไซเตชัน (Exciter Stabilizer) |
| $T_F$     | = | ค่าคงตัวทางเวลาของสเตบิไลเซอร์ของระบบเอกไซเตชัน                |
| $V_F$     | = | แรงดันออกของสเตบิไลเซอร์ของระบบเอกไซเตชัน                      |
| $V_{REF}$ | = | แรงดันเปรียบเทียบ  |



- $V_{ERR}$  = แรงดันด้านเข้าของระบบเอกไซเทชั่น  
 $R_C, X_C$  = อิมพีแดนซ์ชดเชย (Compensator Impedance)

สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์ (Power System Stabilizer)

- $k$  = ค่าอัตราขยายที่ต้องการคำนวณหา  
 $KQ_1, KQ_2, KQ_3, KQ_4$  = ค่าอัตราขยาย  
 $t$  = ค่าคงตัวทางเวลาที่ต้องการคำนวณหา  
 $T_1$  = ค่าคงตัวทางเวลาตัวที่ 1  
 $T_2$  = ค่าคงตัวทางเวลาตัวที่ 2  
 $V_s$  = แรงดันด้านออกของอุปกรณ์สแตบิไลเซอร์

สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ

- $V_t$  = แรงดันที่ขั้ว (Terminal Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
 $I_t$  = แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
 $\delta$  = มุมระหว่างแกนอ้างอิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแกนอ้างอิงของระบบ  
 $\beta$  = มุมของแรงดันขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Phase Angle)  
 $s$  = ตัวแปร Laplace

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย