

## สารบัญ

|                                                                                          | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                          | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                       | ข    |
| คำอุทิศ                                                                                  | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ                                                                          | ง    |
| สารบัญตาราง                                                                              | ช    |
| สารบัญภาพ                                                                                | ซ    |
| คำอธิบายสัญลักษณ์                                                                        | ณ    |
| บทที่ 1                                                                                  |      |
| บทนำ                                                                                     | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                                                       | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                                                         | 1    |
| 1.3 นิยามของเสถียรภาพ                                                                    | 1    |
| 1.4 สมมติฐานและขอบเขตของการวิจัย                                                         | 3    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย                                                 | 5    |
| บทที่ 2 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบกำลังไฟฟ้า                                                | 6    |
| 2.1 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบ SMIB                                                         | 6    |
| 2.1.1 สมการสเทชันในรูปเมตริกซ์เมื่อไม่มี PSS                                             | 11   |
| 2.1.2 สมการสเทชันในรูปเมตริกซ์เมื่อมี PSS                                                | 12   |
| 2.2 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบเครื่องจักรหลายตัว                                            | 13   |
| บทที่ 3 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของ PSS และตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง                  | 18   |
| 3.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของ PSS โดยใช้ทฤษฎีโมดอล คอนโทรล                                  | 18   |
| 3.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการ<br>ทำให้เหมาะสมที่สุดด้วยแพทเทิร์น-เสิร์ช | 21   |
| 3.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ<br>ตัวควบคุมป้อนกลับแบบลบ                         | 21   |
| 3.2.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSS                                               | 21   |
| 3.3 พาร์ทิชันเพชัณ แฟกเตอร์                                                              | 22   |

สารบัญ (ต่อ)

|                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 4 การปรับปรุงเสถียรภาพ NPCC ในระบบ SMIB                | 24   |
| 4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ SMIB สำหรับ NPCC              | 24   |
| 4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุม                |      |
| ป้อนกลับแบบลบของระบบควบคุมแรงดัน                             | 25   |
| 4.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของ PSS ที่มีการชดเชยแบบนำหน้า        | 26   |
| 4.3.1 ใช้วิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดด้วยแพทเทิร์น-เสิร์ช       | 26   |
| 4.3.2 ใช้ทฤษฎีโมดอล คอนโทรล                                  | 27   |
| 4.4 แสดงผลการจำลองผลตอบสนองในแกนเวลา                         | 28   |
| บทที่ 5 การปรับปรุงเสถียรภาพระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ.         |      |
| ในระบบเครื่องจักรหลายตัว                                     | 32   |
| 5.1 กรณีแรกให้ KK1 เป็นบัสอนันต์                             | 32   |
| 5.2 กรณีที่สองให้ TTK เป็นบัสอนันต์                          | 36   |
| บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ                                 | 46   |
| เอกสารอ้างอิง                                                | 49   |
| ภาคผนวก ก.                                                   |      |
| พารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบ SMIB                                 | 52   |
| ภาคผนวก ข.                                                   |      |
| ข้อมูลและพารามิเตอร์ของระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. ในกรณีแรก    | 53   |
| ภาคผนวก ค.                                                   |      |
| ข้อมูลและพารามิเตอร์ของระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. ในกรณีที่สอง | 57   |
| ภาคผนวก ง.                                                   |      |
| คำอธิบายโปรแกรม                                              | 62   |
| ประวัติผู้เขียน                                              | 65   |

## สารบัญตาราง

|                                                                           | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเจาะจงของระบบเมื่อไม่มีและมี PSS               | 27   |
| ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ $K_{ij}$ ; $i, j = 1, 2, \dots, 8$ ในกรณีแรก     | 33   |
| ตารางที่ 5.2 ค่าเจาะจงของระบบในกรณีแรก                                    | 33   |
| ตารางที่ 5.3 ค่าพาร์ทิชันเพชัณ แฟกเตอร์ ของโมดเครื่องกลไฟฟ้าในกรณีแรก     | 35   |
| ตารางที่ 5.4 โมดเครื่องกลไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในกรณีแรก       | 36   |
| ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ $K_{ij}$ ; $i, j = 1, 2, \dots, 9$ ในกรณีที่สอง  | 37   |
| ตารางที่ 5.6 ค่าเจาะจงของระบบในกรณีที่สอง                                 | 37   |
| ตารางที่ 5.7 ค่าพาร์ทิชันเพชัณ แฟกเตอร์ ของโมดเครื่องกลไฟฟ้าในกรณีที่สอง  | 39   |
| ตารางที่ 5.8 โมดเครื่องกลไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในกรณีที่สอง    | 40   |
| ตารางที่ 5.9 ค่าเจาะจงของระบบเมื่อมี PSS ที่ URH                          | 41   |
| ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าเจาะจงของโมดเครื่องกลไฟฟ้าเมื่อไม่มีและมี PSS | 43   |
| ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสายส่งในกรณีแรก                                        | 53   |
| ตารางที่ ข.2 ข้อมูลบัสในกรณีแรก                                           | 55   |
| ตารางที่ ข.3 พารามิเตอร์เครื่องจักรในกรณีแรก                              | 56   |
| ตารางที่ ข.4 พารามิเตอร์ระบบควบคุมแรงดันในกรณีแรก                         | 56   |
| ตารางที่ ค.1 ข้อมูลสายส่งในกรณีที่สอง                                     | 57   |
| ตารางที่ ค.2 ข้อมูลบัสในกรณีที่สอง                                        | 59   |
| ตารางที่ ค.3 พารามิเตอร์เครื่องจักรในกรณีที่สอง                           | 60   |
| ตารางที่ ค.4 พารามิเตอร์ระบบควบคุมแรงดันในกรณีที่สอง                      | 61   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                 | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 แสดงแผนภาพอิมพีแดนซ์ของระบบ SMIB                                                                   | 6    |
| 2.2 แสดงแผนภาพเฟเซอร์ของระบบ SMIB                                                                      | 7    |
| 2.3 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นของระบบ SMIB                                                                   | 10   |
| 2.4 แสดงแผนภาพเส้นเดียวของระบบกำลังไฟฟ้า 9 บัส                                                         | 13   |
| 2.5 แสดงแผนภาพเฟเซอร์ของระบบเครื่องจักรหลายตัว                                                         | 13   |
| 2.6 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นของระบบเครื่องจักรหลายตัว                                                      | 15   |
| 4.1 แสดงแผนภาพเส้นเดียวของ NPCC ที่ต่อกับบัสอนันต์คือ KK1                                              | 24   |
| 4.2 แสดงแผนภาพอิมพีแดนซ์ของระบบ SMIB สำหรับ NPCC                                                       | 24   |
| 4.3 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>ความเร็วเชิงมุม $\Delta\omega$ เมื่อไม่มีและมี PSS              | 28   |
| 4.4 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>มุมแรงบิด $\Delta\delta$ เมื่อไม่มีและมี PSS                    | 29   |
| 4.5 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>แรงดันปลายสาย $\Delta V_L$ เมื่อไม่มีและมี PSS                  | 29   |
| 4.6 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>ความเร็วเชิงมุม $\Delta\omega$ เมื่อมี PSS จากทั้ง 2 วิธี       | 30   |
| 4.7 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์<br>ของมุมแรงบิด $\Delta\delta$ เมื่อมี PSS จากทั้ง 2 วิธี             | 30   |
| 4.8 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>แรงดันปลายสาย $\Delta V_L$ เมื่อมี PSS จากทั้ง 2 วิธี           | 31   |
| 5.1 แสดงแผนภาพเส้นเดียวของระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. เมื่อให้ KK1 เป็นบัสอนันต์                          | 32   |
| 5.2 แสดงแผนภาพเส้นเดียวของระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. เมื่อให้ TTK เป็นบัสอนันต์                          | 36   |
| 5.3 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>ความเร็วเชิงมุม $\Delta\omega_{31}$ เมื่อไม่มีและมี PSS ที่ URH | 44   |
| 5.4 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>มุมแรงบิด $\Delta\delta_{31}$ เมื่อไม่มีและมี PSS ที่ URH       | 44   |
| 5.5 เปรียบเทียบผลตอบสนองพลศาสตร์ของ<br>แรงดันปลายสาย $\Delta V_B$ เมื่อไม่มีและมี PSS ที่ URH          | 45   |

คำอธิบายสัญลักษณ์

| สัญลักษณ์ | ความหมาย                                                                                                       |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | เมตริกซ์ระบบ(system matrix)                                                                                    |
| B         | เมตริกซ์ควบคุม(control matrix)                                                                                 |
| C         | เมตริกซ์เอาต์พุต(output matrix)                                                                                |
| $\Delta$  | การเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก(small changes)                                                                          |
| s         | ตัวดำเนินการลาปลาซ(Laplace operator)                                                                           |
| $V_{ref}$ | แรงดันอินพุตอ้างอิง(reference input voltage)                                                                   |
| $V_t$     | แรงดันปลายสาย(terminal voltage)                                                                                |
| $V_d$     | แรงดันปลายสายแกนตรง(direct axis terminal voltage)                                                              |
| $V_q$     | แรงดันปลายสายแกนตั้งฉาก(quadrature axis terminal voltage)                                                      |
| $I_a$     | กระแสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(generator current)                                                                     |
| $I_d$     | กระแสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแกนตรง(direct axis generator current)                                                   |
| $I_q$     | กระแสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแกนตั้งฉาก(quadrature axis generator current)                                           |
| $I_r$     | กระแสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแกนจริง(real axis generator current)                                                    |
| $I_x$     | กระแสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแกนจินตภาพ(imaginary axis generator current)                                            |
| $V_o$     | แรงดันบัสอนันต์(infinite bus voltage)                                                                          |
| $E_q$     | แรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายใน(internal generator voltage)                                                      |
| $E'_q$    | ส่วนประกอบแกนตั้งฉากของแรงดันหลังทรานเซียนท์รีแอคแตนซ์(q-axis component of voltage behind transient reactance) |
| $E_{FD}$  | แรงดันกระตุ้นสมมูล(equivalent excitation voltage)                                                              |
| $V_R$     | แรงดันเอาต์พุตตัวปรับ(regulator output voltage)                                                                |
| $V_F$     | แรงดันตัวแปลงการเสถียร(stabilizing transformer voltage)                                                        |
| $V_s$     | เอาต์พุตเครื่องสร้างเสถียรภาพ(stabilizer output)                                                               |
| $T_e$     | แรงบิดไฟฟ้า(electrical torque)                                                                                 |
| $T_m$     | อินพุตแรงบิดเครื่องกล(mechanical torque input)                                                                 |
| $\delta$  | มุมแรงบิด(torque angle)                                                                                        |

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

| สัญลักษณ์      | ความหมาย                                                                                                     |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\omega$       | ความเร็วเชิงมุม(angular velocity)                                                                            |
| $\lambda$      | ค่าเฉพาะจาง(eigenvalue)                                                                                      |
| $\sigma$       | ส่วนจริงของค่าเฉพาะจาง(real part of eigenvalue)                                                              |
| $\omega_d$     | ส่วนจินตภาพหรือความถี่การหน่วงของค่าเฉพาะจาง(imaginary part or damped frequency of eigenvalue)               |
| $\zeta$        | อัตราส่วนการหน่วง(damping ratio)                                                                             |
| $\omega_n$     | ความถี่ธรรมชาติ(natural frequency)                                                                           |
| $X_d$          | รีแอกแตนซ์ซิงโครนัสแกนตรง(direct axis synchronous reactance)                                                 |
| $X_d'$         | รีแอกแตนซ์ทรานเซียนท์แกนตรง(direct axis transient reactance)                                                 |
| $X_q$          | รีแอกแตนซ์ซิงโครนัสแกนตั้งฉาก(quadrate axis synchronous reactance)                                           |
| $T_{do}'$      | ค่าคงที่เวลาเปิดวงจรทรานเซียนท์แกนตรง(direct axis transient open-circuit time constant)                      |
| $K_A$          | อัตราขยายตัวปรับแรงดัน(voltage regulator gain)                                                               |
| $T_A$          | ค่าคงที่เวลาตัวปรับแรงดัน(voltage regulator time constant)                                                   |
| $K_E$          | ค่าคงที่ตัวกระตุ้นสัมพันธ์กับสนามกระตุ้นตัวเอง(exciter constant related to self-excited field)               |
| $T_E$          | ค่าคงที่เวลาตัวกระตุ้น(exciter time constant)                                                                |
| $S_E$          | ฟังก์ชันการอิ่มตัว(exciter saturation function)                                                              |
| $V_{RMAX}$     | ค่าสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตตัวปรับ(maximum value of $V_R$ )                                                   |
| $V_{RMIN}$     | ค่าต่ำสุดของแรงดันเอาต์พุตตัวปรับ(minimum value of $V_R$ )                                                   |
| $K_F$          | อัตราขยายตัวแปลงการเสถียร(stabilizing transformer gain)                                                      |
| $T_F$          | ค่าคงที่เวลาตัวแปลงการเสถียร(stabilizing transformer time constant)                                          |
| $K_1 \sim K_6$ | ค่าคงที่ของแบบจำลองเชิงเส้นของเครื่องจักรซิงโครนัส(constants of the linearized model of synchronous machine) |
| $J$            | โมเมนต์ความเฉื่อย(moment of inertia)                                                                         |

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

| สัญลักษณ์  | ความหมาย                                                                                                                                                                                      |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| H          | ค่าคงที่ความเฉื่อย(inertia constant)                                                                                                                                                          |
| M          | สัมประสิทธิ์ความเฉื่อย(inertia coefficient)                                                                                                                                                   |
| D          | สัมประสิทธิ์การหน่วง(damping coefficient)                                                                                                                                                     |
| H(s)       | ฟังก์ชันโอนย้ายของเครื่องสร้างเสถียรภาพ(transfer function of PSS)                                                                                                                             |
| $T_w$      | ค่าคงที่เวลาคืนตัว(reset time constant)                                                                                                                                                       |
| K          | อัตราขยายเครื่องสร้างเสถียรภาพ(stabilizer gain)                                                                                                                                               |
| $T_1, T_2$ | ค่าคงที่เวลาของโครงข่ายนำหน้า-ล่าหลัง(time constants of the lead-lag network)                                                                                                                 |
| $P_G$      | กำลังผลิตจริง(generated real power)                                                                                                                                                           |
| $Q_G$      | กำลังผลิตรีแอกทีฟ(generated reactive power)                                                                                                                                                   |
| $P_L$      | กำลังโหลดจริง(load real power)                                                                                                                                                                |
| $Q_L$      | กำลังโหลดรีแอกทีฟ(load reactive power)                                                                                                                                                        |
| NFEVAL     | จำนวนครั้งของการทำซ้ำสำหรับวิธีการทำให้เหมาะสมที่สุดด้วย<br>แพทเทิร์น-เสิร์ช(number of iterations for Pattern-search optimization method)                                                     |
| F          | ฟังก์ชันเป้าหมาย(objective function) ที่ต้องการหาค่าต่ำสุด โดยการทำให้<br>เหมาะสมที่สุดด้วยแพทเทิร์น-เสิร์ช(Pattern-search optimization) ร่วมกับ<br>การวิเคราะห์ค่าเฉพาะ(eigenvalue analysis) |