การควบคุมแบบคงทนสำหรับการหน่วงระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการใช้ระบบสะสมพลังงาน

Power System Oscillation Control Using a Robust Energy Capacitor System

เนาวรัตน์ เทพหริรักษ์ และ คมสันต์ หงษ์สมบัติ
ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Email : fengksh@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างพื้นที่โดยการใช้ระบบสะสมพลังงาน (Energy Capacitor System : ECS) การออกแบบตัวควบคุม ECS ได้นำเทคนิควิธีการจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ (H_∞ loop shaping control) มาประยุกต์ใช้ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมและขนาดของ ECS พร้อมกันบนพื้นฐานของการพิจารณาการหน่วงของโหมดการแกว่งระหว่างพื้นที่ ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้แสดงให้เห็นว่า การติดตั้ง ECS มีสมรรถนะในการปรับปรุงการหน่วงของระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้การทำงานร่วมกันของ ECS และ PSS ไม่เพียงแต่จะช่วยในส่วนของอัตราการหน่วงที่สูงและเร็วขึ้นเท่านั้น แต่ยังช่วยลดขนาดการใช้งานของ ECS ให้เล็กลงได้อีกด้วย

คำสำคัญ :

ระบบสะสมพลังงาน การควบคุมแบบจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ การหน่วงระบบไฟฟ้ากำลัง การควบคุมแบบคงทน

Abstract

This paper proposes the stability improvement of the two-area multi-machine power system by using the energy capacitor system (ECS). The algorithm for designing the damping controller of the ECS is based on the H_∞ loop shaping control. The acquired results from the design are the control parameters of the ECS damping controller with the constraint that the size of the ECS must satisfy the criteria of damping consideration. From the simulation results, it is obviously found that the ECS can be used to effectively enhance the damping of the power system. Moreover, the results show that the cooperation control between the ECS and the existing PSS can achieve not only better performance in term of higher damping ratio and faster settling time, but also smaller size of ECS.

Keywords:

energy capacitor system, H_∞ loop shaping control, power system damping, robust control

1. บทนำ

ระบบกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันมีการเชื่อมโยงเข้าหากันระหว่างพื้นที่ เนื่องจากไม่เพียงแต่จะช่วยส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดเท่านั้น แต่ยังสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในด้านเศรษฐศาสตร์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาที่โหมดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำระหว่างพื้นที่ (Low Frequency Oscillation Mode) ก่อให้เกิดคุณลักษณะของการหน่วงที่แย่ลงนำเสนอไว้ในเอกสารที่ [1] ด้วยสาเหตุที่ว่านี้ การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังในช่วงโหมดการแกว่งระหว่างพื้นที่ (Inter-Area Oscillation Mode) อาจจะไม่มีเสถียรภาพ หากมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด หรือเกิดความผิดพร่อง (Fault) ขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นเพื่อลดการแกว่งของมุมโรเตอร์ที่ความถี่ต่ำในช่วง 0.2 ถึง 0.8 Hz ได้มีการนำเอาตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer : PSS) มาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator : AVR) เพื่อเพิ่มการหน่วงของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเฉพาะตัว PSS อาจจะไม่สามารถรองรับกับการรบกวนของระบบไฟฟ้ากำลังได้ทุกกรณี ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการคิดค้นอุปกรณ์ใหม่ๆ มาใช้งาน ซึ่ง ECS เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ได้รับความสนใจและนำเสนอไว้ในเอกสาร [5-6]

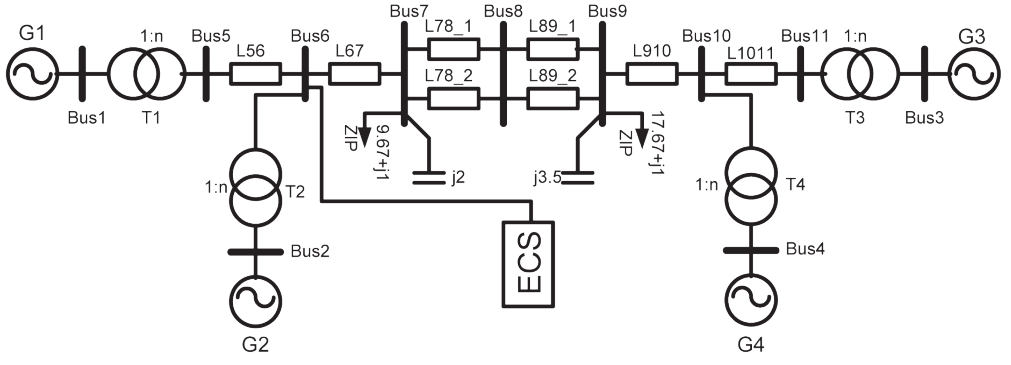
บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานของ ECS เพื่อเพิ่มการหน่วงของระบบไฟฟ้ากำลัง อีกทั้งยังมีการศึกษาการทำงานร่วมกันของ ECS และ PSS ในระบบไฟฟ้ากำลัง ส่วนสำคัญในการนำเอา ECS และ PSS มาใช้งานในระบบไฟฟ้า คือ การออกแบบ ECS และ PSS ให้เหมาะสมกับการใช้งานและทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งตัวควบคุมของ ECS ออกแบบโดยเทคนิควิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบคงทนด้วยวิธีการจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ (H_∞ loop shaping control)

เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมให้มีเสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยผลการจำลองสถานการณ์ได้แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ ECS และ PSS ที่มีตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอนั้นสามารถปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังให้ดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดขนาด MW และ MJ ภายใต้การจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

2. ระบบไฟฟ้ากำลังที่ศึกษาและแบบจำลอง

2.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา

ภาพที่ 1 แสดงระบบสี่เครื่องจักรที่เชื่อมโยงกันระหว่างพื้นที่ นำเสนอไว้ในเอกสารที่ [4] ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ ECS ที่บัส 6 แต่ละพื้นที่แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยแบบจำลองของกุนเดอร์ (Kunder) อันดับที่ 3 พร้อมติดตั้งตัวกระตุ้นและตัวกอพเวอร์เนอร์ที่มีการติดตั้ง PSS อันดับที่ 2



ภาพที่ 1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้ง ECS

2.2 แบบจำลอง ECS

ระบบสะสมพลังงานไฟฟ้า (Energy Capacitor System : ECS) ทำหน้าที่จ่ายพลังงานในกรณีที่ระบบไฟฟ้ากำลังหลักหายไป เพื่อความต่อเนื่องในการทำงานของโหลด และเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ECS ทำหน้าที่ในการชาร์จ/ดิสชาร์จพลังงาน และช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลังในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งมีอัตราการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แบบจำลองพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของ ECS และตัวควบคุม แสดงไว้ในภาพที่ 2 [7].

จากภาพที่ 2 กำหนดให้ $_P$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก v คือ แรงดันที่บัสที่ติดตั้ง ECS โดยที่ P_{ECS} และ Q_{ECS} คือ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายออกจาก ECS เข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ตามลำดับ $P_{ECS,MAX}$, $P_{ECS,MIN}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุด และ $P_{ECS,MAX}$, $P_{ECS,MIN}$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดและต่ำสุดจ่ายออกจาก ECS ตามลำดับ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_{ECS,min} = -P_{ECS,max} \quad (1)$$

$$Q_{ECS,min} = -Q_{ECS,max} \quad (2)$$

ในการศึกษานี้ $P_{ECS,max}$ และ $Q_{ECS,max}$ ถูกกำหนดด้วย $s_{ECS,max}$ ดังต่อไปนี้

$$\sqrt{P_{ECS,min}^2 + Q_{ECS,min}^2} \le S_{ECS,max} \quad (3)$$

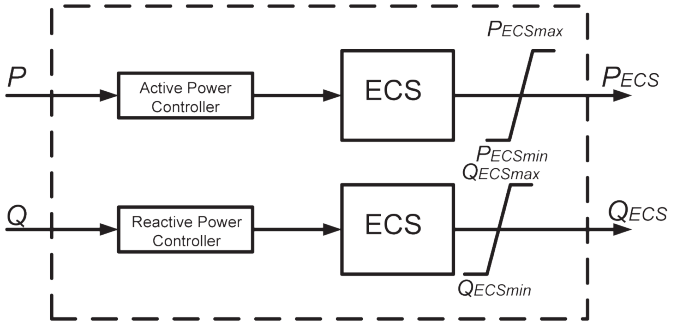
กำหนดให้ $S_{ECS,min} = 0.20$pu.MWs ซึ่งระดับการสะสมพลังงานสูงสุดและต่ำสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.023 pu.mws และ -0.023 pu.mws ตามลำดับ

กระแสป้อนเข้า ECS I_d และ I_q สามารถหาจากสมการ (4) และ (5) ดังต่อไปนี้

$$I_d + jI_q = \bar{I}_{ECS} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \frac{1}{V_d^2 + V_q^2} \begin{bmatrix} V_d & V_q \\ V_q & -V_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{ECS} \\ Q_{ECS} \end{bmatrix} \quad (5)$$

โดยที่ $\bar{I}_{ECS}$ คือ กระแสป้อนเข้า ECS I_d คือ ส่วนประกอบกระแสป้อนตามแกนยาว I_q คือ ส่วนประกอบกระแสป้อนตามแกนขวาง V_d คือ ส่วนประกอบแรงดันตามแกนยาว และ V_q คือ ส่วนประกอบแรงดันตามแกนขวาง



ภาพที่ 2 โมเดลการควบคุมของ ECS

3. การออกแบบตัวควบคุม ECS

การออกแบบตัวควบของ ECS สามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดสัณฐานวงรอบ (Loop shaping) จากภาพที่ 3 ใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก 2 ตัวคือ W_1 (ตัวชดเชยตัวหน้า) และ W_2 (ตัวชดเชยตัวหลัง) ได้ว่า $G8 = W_2 G_0 W_1$ เป็นเส้นประบางวงใน

เสถียรภาพความคงทนออกแบบจาก $K_c(s) = W_1 K_\infty W_2$ ซึ่งล้อมรอบด้วยเส้นประหนาวงนอก K_∞ คือ ตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้ และฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักกำหนดให้มีค่า $W_1 = W$ และ $W_2 = 1$

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดเสถียรภาพความคงทนเอชอินฟินิตี้เริ่มต้นจากการเชปพลานต์ G_s ซึ่งแสดงในรูปแบบการแยกตัวประกอบเฉพาะร่วมซ้ายของพลานต์-นอมินัล $G_s=M_s^{-1}N_s$ เมื่อพลานต์ถูกรบกวน G_Δ กำหนดให้

$$G_\Delta \{(M_s+\Delta M_s)^{-1}(N_s+\Delta N_s)||[\Delta N_s \ \Delta M_s]||_\infty \le \tfrac{1}{\gamma}\} \quad (6)$$

โดยที่ ΔM_s และ ΔN_s เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแทนความไม่แน่นอนในโมเดลพลานต์ปกติ G_0 จากนิยามเรื่องปัญหาเสถียรภาพความคงทน H_∞ สามารถสร้างค่า G_Δ และ N_C ดังภาพที่ 4 วัตถุประสงค์ของการออกแบบตัวควบคุมแบบคงทนไม่เพียงแต่ช่วยรักษาเสถียรภาพให้กับพลานต์นอมินัล G_0 เท่านั้น แต่ยังรักษาเสถียรภาพของพลานต์ G_Δ ด้วยค่า $1/\gamma$ ในสมการ (6) เป็นตัวกำหนดขอบเขตความเสถียรภาพคงทน

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าของตัวควบคุมแบบคงทนตัวควบคุม K_{ECS} สามารถหาได้จากในภาพที่ 4 ดังนี้

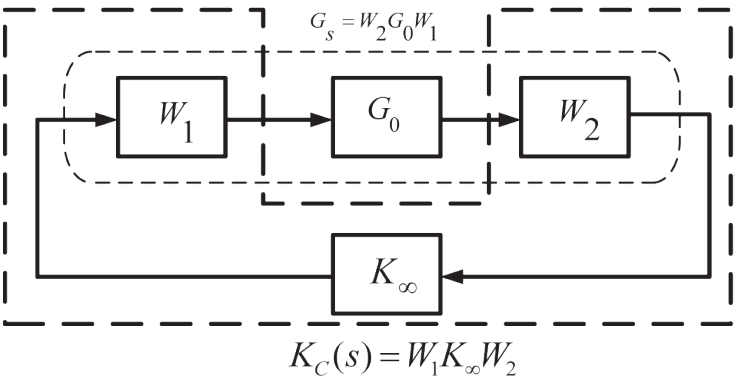
$$K_\infty=\begin{bmatrix} A+BF+\gamma^2(L^T)^{-1}ZC^T(C+DF) & \gamma^2(L^T)^{-1}ZC^T \\ B^TX & -D^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

โดยที่ $F=-S^{-1}(D^TC+B^TX)$ และ $L=(1-\gamma^2)I+XZ$

หลังจากนั้นเป็นการออกแบบตัวควบคุมแบบคงทน $K_C(S)=W_1K_\infty W_2$ ให้เหมาะสมตามเงื่อนไข

$$\left\|\begin{bmatrix} I \\ K_\infty \end{bmatrix}(I-G_sK_\infty)^{-1}\begin{bmatrix} I & G_s \end{bmatrix}\right\|_\infty \le \gamma \quad (8)$$

และการออกแบบตัวควบคุมของ PSS ใช้แบบจำลองของกุนเดอร์ นำเสนอไว้ในเอกสาร [4]



ภาพที่ 3 พลานต์ของ G_s และการออกแบบตัวควบคุมแบบคงทน

4. การศึกษาแบบจำลอง

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาการจำลองการดำเนินการในระบบสี่เครื่องจักรที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ ผลของการออกแบบ K_{pss} ของ PSS นำเสนอไว้ในเอกสาร [2] และผลการออกแบบตัวควบคุม K_{ECS} ของ ECS ด้วยวิธีการควบคุมแบบจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ แสดงไว้ในสมการที่ (12) และ (13) และฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ถูกออกแบบขึ้น แสดงไว้ในสมการ (14) และ (15)

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาการจำลองการดำเนินการในระบบสี่เครื่องจักร ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Dymola ร่วมกับ ObjectStab นำเสนอไว้ในเอกสาร [3] เพื่อเปรียบเทียบสรรมถนะในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีการจำลองสถานการณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์คือ ภาระโหลดต่ำ (light load) ภาระโหลดปกติ (normal load) และ

ภาระโหลดสูง (heavy load) ภายใต้เงื่อนไขการเกิดการลัดวงจรสามเฟสลงดินที่สายส่งระหว่างบัส 7 และบัส 8 โดยที่ ภาระโหลดต่ำ (light load) มี P_{tie}= 2.0 pu.ภาระโหลดปกติ (normal load) มี P_{tie}= 4.0pu. และภาระโหลดสูง (heavy load) มี P_{tie} = 6.8pu. ตามลำดับ บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมของ ECS เพื่อเพิ่มการหน่วงของระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่ภาระโหลดต่ำ (light load) ภาระโหลดปกติ (normal load) และภาระโหลดสูง (heavy load) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบสรรมถนะของตัวควบคุมที่นำเสนอภายใต้การจำลองเงื่อนไขที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ โดยในแต่ละสถานการณ์ได้มีการแบ่งกรณีการเปรียบเทียบออกเป็น 4 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 : ไม่มีการติดตั้ง ECS และ PSS

ภาพที่ 5 6 7 แสดงถึงระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวควบคุมการหน่วงของระบบไฟฟ้ากำลังที่ภาระโหลดต่ำ (light load) ภาระโหลดปกติ (normal load) และภาระโหลดสูง (heavy load) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ ภาระโหลดปกติ (normal load) และ ภาระโหลดสูง (heavy load) ระบบไฟฟ้ากำลังจะมีการแกว่งของผลต่างของความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังที่รุนแรง ทำให้ระบบสูญเสียความมีเสถียรภาพ ส่วนที่สภาวะภาระโหลดต่ำ (light load) ระบบไฟฟ้ากำลังจะมีการแกว่งของผลต่างของความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังที่ไม่รุนแรง นั่นหมายความว่า ระบบไฟฟ้ากำลังยังสามารถรักษาเสถียรภาพภายใต้สถานการณ์ที่ถูกรบกวน ดังกล่าว

กรณีที่ 2 : มีการติดตั้ง PSS

พารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบนำหน้า-ล้าหลัง (Lead-Lag compesator) ของอุปกรณ์ PSS นำเสนอไว้ในเอกสาร [2] ตัวควบคุม K_{pss} ที่นำมาใช้งานแสดงไว้ในสมการที่ 12 ซึ่งตัวควบคุม K_{pss} สามารถลดการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังได้ในภาระโหลดปกติ (normal load) และภาระโหลดต่ำ (light load) ส่วนในภาระโหลดสูง (heavy load) จะเห็นได้ว่าระบบไฟฟ้ามีแกว่งที่รุนแรง ระบบไฟฟ้าไม่สามารถรักษาความมีเสถียรภาพไว้ได้ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 7

$$K_{pss} = \left(\frac{0.05s+1.00}{0.02s+1.00}\right)\left(\frac{3.00s+1.00}{4.00s+1.00}\right) \quad (12)$$

กรณีที่ 3 : มีการติดตั้ง ECS

การออกแบบตัวควบคุม ECS โดยใช้วิธีการควบคุมแบบจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ ตัวควบคุมและฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ใช้งาน แสดงไว้ในสมการที่ 13 ถึงสมการที่ 15 จากภาพที่ 5 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งตัวควบคุม ECS จะช่วยลดการแกว่งผลต่างเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และลักษณะการแกว่งของผลต่างเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างมีนัยสำคัญ

$$K_{ECS1} = \frac{(S^2+ 0.34s + 4.52)(s+ 0.34)}{(S^2+ 0.34s + 4.52)(s + 0.34)} \quad (13)$$

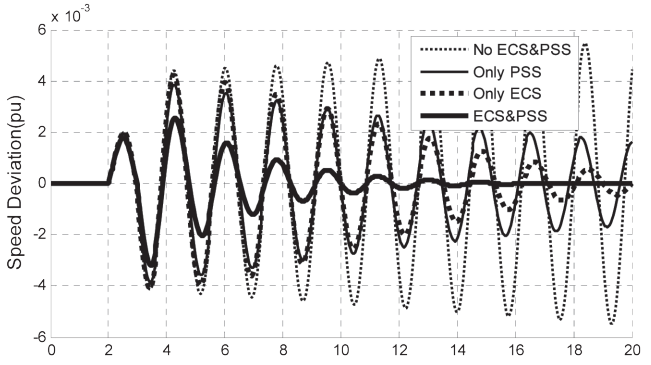
$$W_1 = \frac{50s+5}{S+0.3} \quad (14)$$

$$W_2 = 1 \quad (15)$$

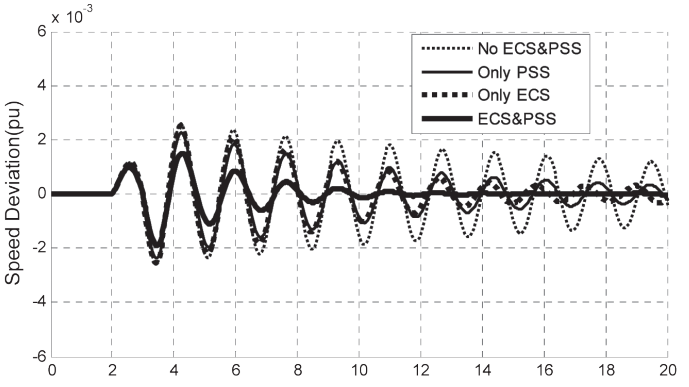
กรณีที่ 4 : มีการติดตั้ง ECS และ PSS

การออกแบบตัวควบคุม ECS โดยใช้วิธีการควบคุมแบบจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ เมื่อมีการติดตั้งตัวควบคุมของอุปกรณ์ PSS ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และมีการติดตั้งตัวควบคุมของ ECS เพื่อช่วยในการหน่วงการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลัง K_{ECS2} ได้แสดงไว้ในสมการที่ 12 และสมการที่ 16 ตามลำดับ โดยมีฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ใช้งาน ดังแสดงไว้ในสมการที่ 14 และสมการที่ 15 ผลของการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ ECS และ PSS จะช่วยลดการแกว่งผลต่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก นั่นหมายความว่า ระบบไฟฟ้ากำลังยังมีเสถียรภาพ อีกทั้งยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดภายใต้สถานการณ์ต่างๆ แสดงไว้ในภาพที่ 5 6 และ 7

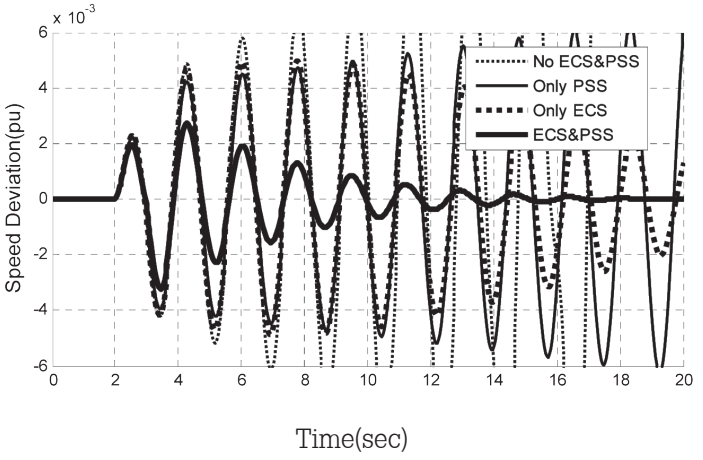
$$K_{ECS2} = \frac{(s^2 + 36.70s + 346.29)(s + 0.12)}{(s^2+1.00s+12.91)(s+0.29)} \quad (16)$$



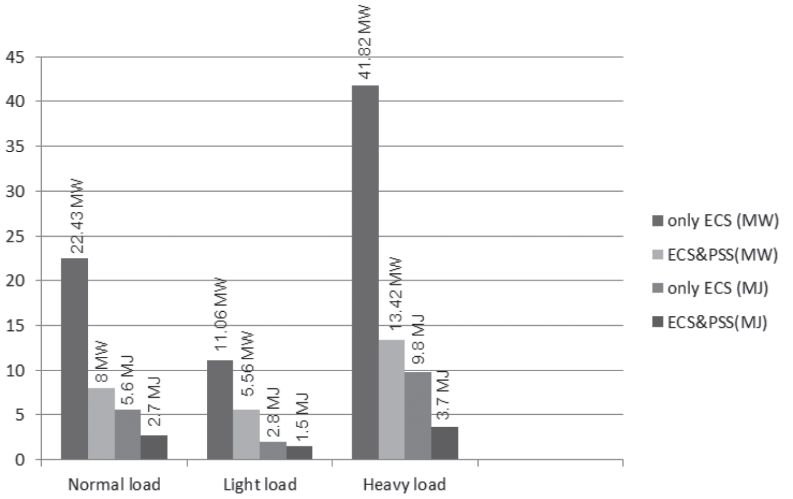
ภาพที่ 4 ผลต่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ภาระโหลดปกติ



ภาพที่ 5 ผลต่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ภาระโหลดต่ำ



ภาพที่ 6 ผลต่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ภาระโหลดสูง



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบ MW และ MJ ที่ใช้งานของ ECS

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณ MW และ MJ ที่ใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษาของ ECS ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของโหลดในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้ง PSS และ ECS สามารถปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังให้ดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดขนาดของ MW และ MJ ของ ECS ได้มากกว่า ในกรณีที่ติดตั้ง ECS เพียงอย่างเดียว

5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ ECS ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้ง ECS ที่มีการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการควบคุมแบบจัดสัณฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ สามารถเพิ่มการหน่วงของระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้การทำงานร่วมกันของ ECS และ PSS ยังมีสมรรถนะในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้ดีกว่าการติดตั้งตัวควบคุม ECS หรือ PSS อย่างใดอย่างหนึ่ง การติดตั้งอุปกรณ์ ECS ไม่เพียงแต่จะช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยลดขนาด MW และ MJ ของ ECS ที่ใช้งานได้มากกว่ากรณีที่มีการติดตั้ง ECS เพียงอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

[1] Mcfarlane, D.C. and Glover, K. 1990. “Robust Controller Design Using Normalized Coprime Factor Plant Descriptions”, Lecture notes in control and information science, Springer-Verlage, Vol.138.

[2] Padiyar, K.R. and Uma Rao, K. 1995. “Discrete Control of TCSC for Stability Improvement in Power System”, IEEE on Control Applications.

[3] Larsson, M. 2004. “ObjectStab – An Educational Tool for Power System Stability Studies”, IEEE Transactions on Power Systems, vol.19, no.1, pp. 56-63.

[4] Kunder P. 1994. “Power System stability and control”, Mc Graw-Hill, New York.

[5] Skogestad, S. and Postlethwaite, I. 2005,”Multivariable Feedback Control: Analysis and Design”, 2ndedition. John Wiely.

[6] Hiyama, T. Matsumoto, Y. and Hara, Y. 2003. “Multi-Agent Based Stabilization Control using Energy Capacity System” Proceedings of the IFAC Symposium on Power plants & Power systems Control, Vol.1, pp.125-130.

[7] Hiyama, T. Matsumoto, Y. and Hara,Y. 2004. “Coordinated Active and Reactive Power Regulation on Energy Capacitor Systems for Stabilization of Electric Power Systems”, Proceedings of International Conference on Power System Technology (Powercon2004), (CD-ROOM)