

## บทที่ 6

# การสังเคราะห์ตัวควบคุมสำหรับการควบคุมกำลังการผลิตและความถี่

### 6.1 บทนำ

ในบทนี้เราทำการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนสำหรับการควบคุมกำลังการผลิตและความถี่ เพื่อประกันสมรรถนะของระบบเมื่อพารามิเตอร์มีความไม่แน่นอนภายใต้ขอบเขตที่กำหนด จากนั้นเราทดสอบตัวควบคุมที่ได้โดยนำมาเปรียบเทียบกับค่านอร์ม  $H_2$  และผลตอบเชิงเวลาเทียบกับตัวควบคุม LQG เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่ออกแบบทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย §6.2 แสดงให้เห็นขบวนการการออกแบบตัวควบคุมคงทนและเปรียบเทียบค่านอร์ม  $H_2$  ระหว่างตัวควบคุมคงทนและตัวควบคุม LQG เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะในการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวน §6.3 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบทางเวลาระหว่างตัวควบคุมคงทนที่สังเคราะห์ได้และตัวควบคุม LQG เมื่อปริมาณความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลงไป และ §6.4 เป็นบทสรุป

### 6.2 ผลการออกแบบตัวควบคุม

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนในหัวข้อนี้ นำมาจากการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ที่ได้จาก §3.4 และมีการจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปแบบปัญหา  $H_2$  ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก [13]

#### 6.2.1 กรณีแปรค่าคงตัวทางเวลาของเทอริโบน

กำหนดให้ค่าคงตัวทางเวลาของเทอริโบน เปลี่ยนแปลงในช่วง  $[0.2, 0.8]$  วินาที ดังนั้น  $1/T_{T1} \in [1.125, 5]$  จากนั้นนำเมทริกซ์ที่มีความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ ที่ผ่านการแปลงเศษส่วนเชิงเส้นตามขั้นตอนใน §3.4.1 มาจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปแบบปัญหา  $H_2$  โดยกำหนดให้

- สัญญาณสมรรถนะขาออก คือ  $z = [ACE_1 \quad ACE_2 \quad \Delta E_1 \quad \Delta E_2]^T$  เนื่องจากเราต้องการลดค่า ACE และสัญญาณควบคุม
- เลือก  $D_{zu} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$  และ  $D_{yw} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 \end{bmatrix}$  เมทริกซ์ทั้งสองนี้มีโครงสร้างเป็นไปตามคำแนะนำใน [13] เพื่อให้ให้อยู่ในรูปแบบของปัญหา  $H_2$  เรากำหนดให้สมาชิกในเมทริกซ์  $D_{yw}$  มีค่าน้อยเพื่อให้ระบบมีการตอบสนองทางเวลาเร็วขึ้น

จากช่วงการเปลี่ยนแปลงและการเลือกเมทริกซ์  $D_{yw}$  และ  $D_{zu}$  ทำให้ได้พารามิเตอร์ของระบบ เป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} A & B_p & B_w & B_u \\ C_q & D_{qp} & D_{qw} & D_{qu} \\ C_z & D_{zp} & D_{zw} & D_{zu} \\ C_y & D_{yp} & D_{yw} & D_{yu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.060 & 0.100 & 0 & -0.100 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.125 & 3.125 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -100 & 0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 \\ 3.223 & 0 & 0 & 0 & -3.223 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.125 & -0.113 & 0.123 & 0 & 0 & 0 & -0.123 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.667 & 1.667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -53.333 & 0 & -3.333 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.333 \\ \hline 0 & 0.707 & -0.707 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20.6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 16.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 20.6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 16.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

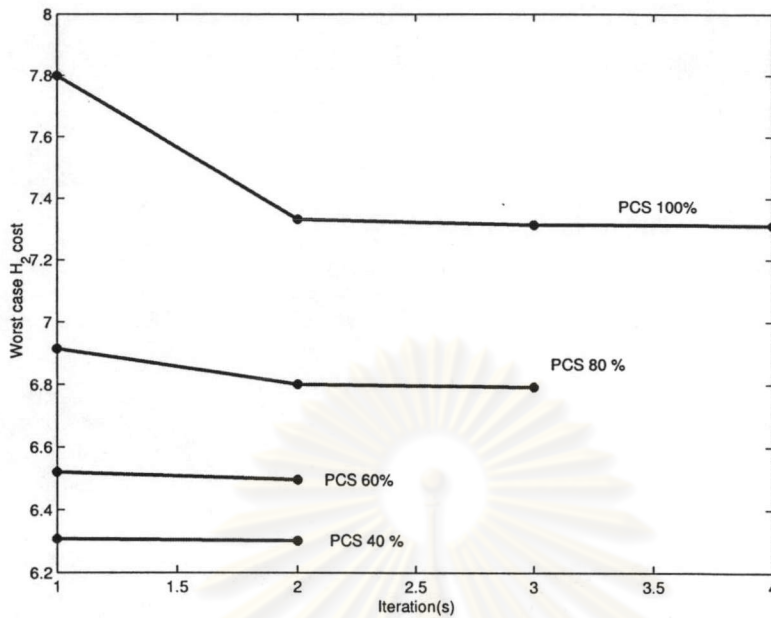
กรณีนี้ขอบเขตของเชกเตอร์มีค่าเท่ากับ  $[-2.652, 2.652]$  ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากค่าเอกฐานสูงสุดในการแยกย่อยเอกฐาน เพื่อกำหนดขนาดของความไม่แน่นอน จะสังเกตว่าขอบเขตล่างของเชกเตอร์ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะทำการแปลงวงรอบ §4.3 ของเชกเตอร์ก่อนนำไปวิเคราะห์สมรรถนะคงทนและสังเคราะห์ตัวควบคุม

ในการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทน เรานำแบบจำลอง (6.1) มาทำการออกแบบตัวควบคุม LQG เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมเริ่มต้น จากนั้นเริ่มต้นการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนภายใต้ขอบเขตเชกเตอร์ที่ต่างกันจำนวน 4 ตัว คือตัวควบคุม PCS 40% PCS 60% PCS 80% และ PCS 100% เมื่อตัวควบคุมดังกล่าวคือตัวควบคุมที่ออกแบบเพื่อให้คงทนต่อค่าพารามิเตอร์ที่เบี่ยงเบนในช่วง 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของเชกเตอร์ตามลำดับ ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดที่ได้จากการสังเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 6.1 เมื่อแทนค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุด และแกนนอนแทนรอบของการวนซ้ำ จากรูป 6.1 เราสามารถสรุปผลการสังเคราะห์ตัวควบคุมได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1: ผลการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่มีการแปรค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์โบ

ตัวควบคุม PCS	จำนวนรอบการวนซ้ำ	ค่าสมรรถนะ $H_2$ กรณีเลวสุด เริ่มต้น	ค่าสมรรถนะ $H_2$ กรณีเลวสุด สิ้นสุด
40%	2	6.308	6.302
60%	2	6.521	6.497
80%	3	6.915	6.791
100%	4	7.799	7.311

จากรูปที่ 6.1 เมื่อพิจารณาการสังเคราะห์ตัวควบคุม PCS 100% พบว่าในรอบการวนซ้ำที่ 1 เมื่อตัวควบคุมเริ่มต้นเป็น LQG ระบบมีค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดมีค่าสูง จากนั้นเมื่อนำระเบียบวิธีที่ได้นำ



รูปที่ 6.1: ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดสำหรับทุกการวนรอบสำหรับระบบที่มี  $T_{T1}$  เปลี่ยนแปลง

เสนอในบทที่ 5 มาทำการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนทำให้ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดของระบบลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกๆรอบของการวนซ้ำ จนกระทั่งหยุดการวนซ้ำเมื่อค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (absolute error) และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ (relative error) น้อยกว่าค่าที่เรากำหนดไว้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 นอกจากนี้พิจารณาแนวโน้มของกราฟ พบว่าการออกแบบตัวควบคุมที่ต้องการประกันสมรรถนะภายใต้ขอบเขตเซกเตอร์ที่มากกว่าจะให้ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดมีค่ามากกว่าเสมอ จึงสรุปได้ว่าจะเกิดการชดเชยข้อดีข้อเสียระหว่างขนาดของเซกเตอร์กับค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุด สำหรับตัวควบคุม PCS 100% เมื่อสิ้นสุดการวนซ้ำในรอบที่ 4 จะให้สมการสถานะของตัวควบคุมคงทนเป็นดังนี้

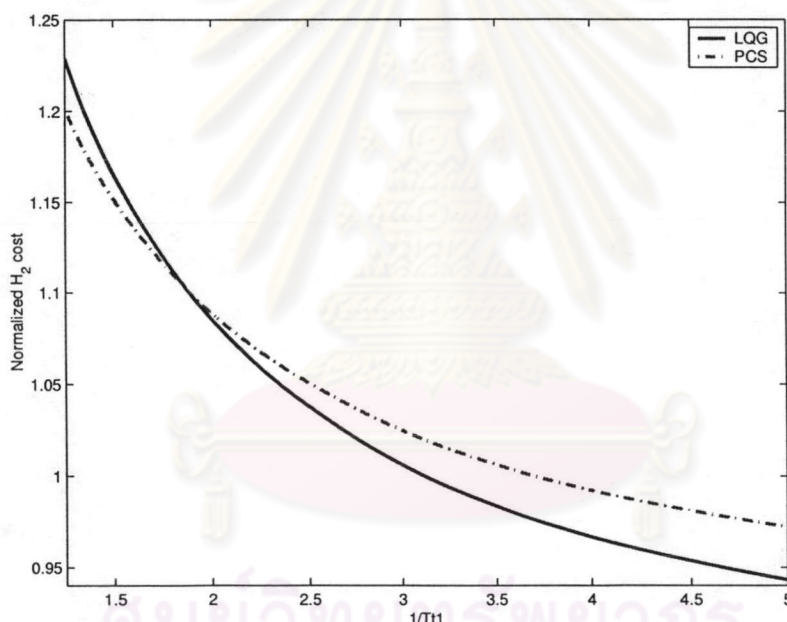
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตัวควบคุม PCS 100% =

$$\begin{bmatrix} 36.148 & -9.660 & 34.384 & 17.535 & -8.453 & -4.001 & 8.293 & -0.204 & 0.280 \\ 107.481 & -32.241 & 36.101 & 20.940 & -21.602 & -15.483 & 11.234 & -0.366 & 0.467 \\ 4.168 & 6.827 & 91.670 & 43.402 & -3.491 & 6.961 & 16.932 & -0.589 & 0.010 \\ -31.020 & -15.590 & -287.292 & -134.706 & 14.578 & -17.438 & -51.354 & 1.346 & -0.241 \\ 144.239 & -35.231 & 166.736 & 86.862 & -33.303 & -9.397 & 42.865 & -0.097 & -0.405 \\ -30.403 & 2.382 & -78.082 & -40.740 & 5.102 & -7.971 & -19.028 & -0.058 & 0.510 \\ 39.257 & 0.828 & 151.923 & 70.574 & -11.170 & 5.756 & 24.462 & -0.477 & -0.000 \\ \hline 6.638 & 3.607 & 64.118 & 29.953 & -3.076 & 4.064 & 11.150 & 0 & 0 \\ -72.117 & 25.837 & 14.553 & 4.026 & 14.328 & 14.934 & -1.289 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

จากนั้นเมื่อนำตัวควบคุม PCS 100% ที่สังเคราะห์ได้มาหาเปรียบเทียบกับค่า norms  $H_2$  กับตัวควบคุม LQG แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า norms  $H_2$  ที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized  $H_2$  norm) ซึ่งเป็นค่าสมรรถนะ  $H_2$  ทหารด้วย norms  $H_2$  ของระบบวงปิดที่มีตัวควบคุม LQG ที่สภาวะระบุดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2: เปรียบเทียบค่า norms  $H_2$  ของตัวควบคุม LQG และ ตัวควบคุม PCS 100% สำหรับการควบคุมกำลังการผลิตและความถี่เมื่อระบบมีค่า  $T_{T1}$  เปลี่ยนแปลง

จากกราฟในรูปที่ 6.2 เห็นว่าที่สภาวะระบุ ( $1/T_{T1} = 3.125$ ) ตัวควบคุม LQG ให้ค่า norms  $H_2$  ต่ำกว่าตัวควบคุม PCS แต่เมื่อค่าพารามิเตอร์ลดลงจากค่าที่ระบุ norms  $H_2$  ของตัวควบคุมทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่  $1/T_{T1} = 1.85$  ค่า norms ของระบบวงปิดที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมทั้งสองมีค่าเท่ากัน และเมื่อ  $1/T_{T1}$  มีค่าลดลงน้อยกว่า 1.85 พบว่าระบบควบคุม LQG มีค่า norms  $H_2$  มีค่ามากกว่าของระบบควบคุม PCS พิจารณาในด้านของการประกันเสถียรภาพจะพบว่า ตัวควบคุม PCS ที่ออกแบบได้สามารถประกันเสถียรภาพของพารามิเตอร์ตามขอบเขตของเซกเตอร์ที่กำหนดไว้ได้ทั้งหมด 100%

## 6.2.2 กรณีแปรค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์ไบน์และค่าสัมประสิทธิ์เชิงโครโนชท์ทอร์ก

เนื้อหาส่วนนี้จะนำพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนใน 3.4.3 มาเพื่อพิจารณาการออกแบบตัวควบคุมสำหรับเมทริกซ์ที่มีความไม่แน่นอนมีค่าลำดับชั้นเป็น 2 และจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปแบบปัญหา  $H_2$  คงทนได้โดย

- กำหนดให้สัญญาณสมรรถนะขาออก คือ  $z = [ACE_1 \quad ACE_2 \quad \Delta E_1 \quad \Delta E_2]^T$  เพื่อต้องการให้สัญญาณออกคือ ACE และสัญญาณควบคุม มีค่าน้อย
- เลือก  $D_{zu} = [0_{2 \times 2} \quad I_{2 \times 2}]^T$  และ  $D_{yw} = [0_{2 \times 2} \quad I_{2 \times 2}]$  เมทริกซ์ทั้งสองนี้มีโครงสร้างเป็นไปตามคำแนะนำใน [13]

จากช่วงการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่กำหนดและการเลือกเมทริกซ์  $D_{yw}$  และ  $D_{zu}$  ทำให้ได้พารามิเตอร์ของระบบเป็นดังนี้

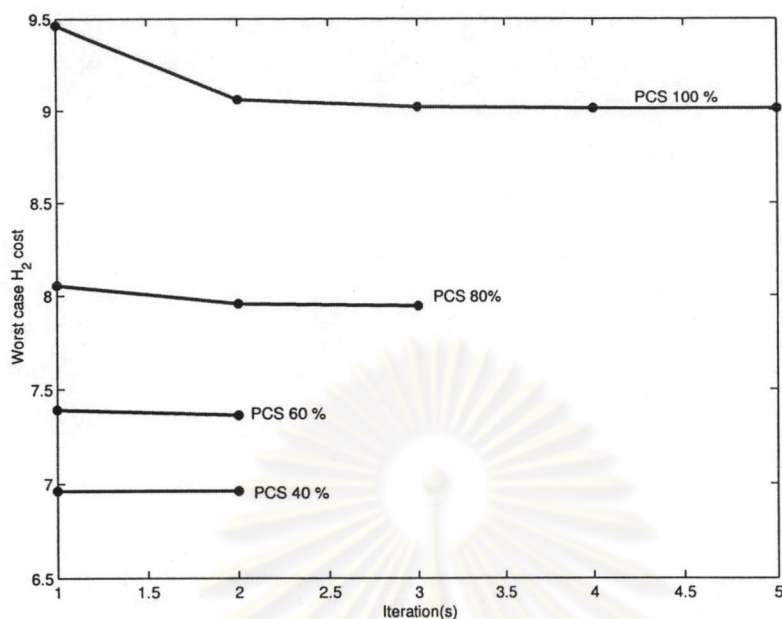
$$\begin{bmatrix} A & B_p & B_w & B_u \\ C_q & D_{qp} & D_{qw} & D_{qu} \\ C_z & D_{zp} & D_{zw} & D_{zu} \\ C_y & D_{yp} & D_{yw} & D_{yu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.060 & 0.100 & 0 & -0.100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.125 & 3.125 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -100 & 0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 \\ 3.223 & 0 & 0 & 0 & -3.223 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.125 & -0.113 & 0.123 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.123 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.667 & 1.667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -53.333 & 0 & -3.333 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.333 \\ \hline 0.707 & 0 & 0 & 0 & -0.707 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.707 & -0.707 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 20.6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 16.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 20.6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 16.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

ระบบนี้มีเชกเตอร์ที่มีค่าลำดับชั้นเท่ากับ 2 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.892\delta_1 & 0 \\ 0 & 2.652\delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix}$$

จะสังเกตว่าขอบเขตล่างของเชกเตอร์ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะทำการแปลงวงรอบของเชกเตอร์ก่อนนำไปวิเคราะห์สมรรถนะคงทนและสังเคราะห์ตัวควบคุม

ในการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทน เรานำแบบจำลอง (6.3) มาออกแบบตัวควบคุม LQG เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมเริ่มต้น จากนั้นเริ่มต้นการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนภายใต้ขอบเขตเชกเตอร์ที่ต่างกันจำนวน 4 ตัว คือตัวควบคุม PCS 40% PCS 60% PCS 80% และ PCS 100% เมื่อตัวควบคุมดังกล่าวคือตัวควบคุมที่ออกแบบเพื่อให้คงทนต่อค่าพารามิเตอร์ที่เบี่ยงเบนในช่วง 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.3: ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดสำหรับทุกการวนรอบของระบบที่มี  $T_{T1}$  และ  $T_{T2}$  เปลี่ยนแปลง

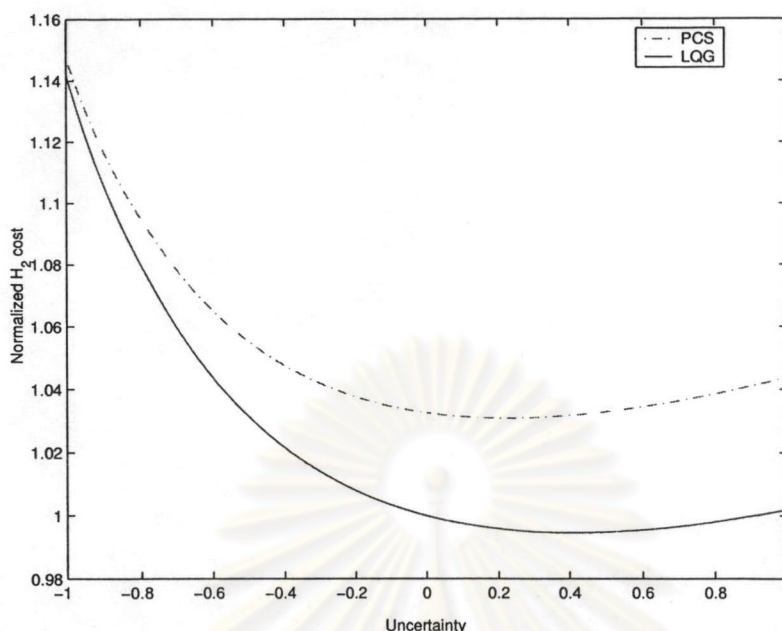
ของเซกเตอร์ตามลำดับ ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุดที่ได้จากการสังเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 6.1 เมื่อแทนที่ค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุด และแกนนอนแทนรอบของการวนซ้ำ เราสามารถสรุปผลการสังเคราะห์ตัวควบคุมได้ดังนี้

ตารางที่ 6.2: ผลการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่มีการแปรค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์โบและค่าซิงโครไนซ์ทอร์ค

ตัวควบคุม PCS	จำนวนรอบการวนซ้ำ	ค่าสมรรถนะ $H_2$ กรณีเลวสุด เริ่มต้น	ค่าสมรรถนะ $H_2$ กรณีเลวสุด สิ้นสุด
40%	2	6.963	6.961
60%	2	7.391	7.360
80%	3	8.060	7.939
100%	5	9.455	9.012

จากรูปที่ 6.3 พบว่าการออกแบบตัวควบคุม PCS ภายใต้ค่าเซกเตอร์ที่ต่างกันทุกช่วงให้ค่าสมรรถนะกรณีเลวสุดมีค่าลดลงทุกรอบของการวนซ้ำ นั่นหมายถึงการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนในรอบนั้นเป็นผลสำเร็จ และหยุดการวนซ้ำด้วยเงื่อนไขค่าผิดพลาดสัมบูรณ์และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่า 0.01 เมื่อเทียบกราฟสมรรถนะการออกแบบนี้กับในตอนที่แล้ว §6.2.1 พบว่ากราฟมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือมีการชดเชยข้อดีข้อเสียระหว่างขนาดของเซกเตอร์กับค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุด แต่กราฟ 6.3 มีค่าสมรรถนะ  $H_2$  สูงกว่าเมื่ออยู่ภายใต้ขอบเขตเซกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากัน สำหรับการออกแบบตัวควบคุม PCS 100%





รูปที่ 6.4: เปรียบเทียบค่านอร์ม  $H_2$  ของตัวควบคุม LQG และ ตัวควบคุม PCS 100% สำหรับการควบคุมกำลังการผลิตและความถี่เมื่อระบบมีค่า  $T_{T1}$  และ  $T_{T2}$  เปลี่ยนแปลง

เมื่อหยุดการวนซ้ำในรอบที่ 5 ให้สมการสถานะของตัวควบคุมเป็น ดังนี้

ตัวควบคุม PCS 100% =

$$\begin{bmatrix} 220.8 & 77.0 & 150.8 & 388.9 & 0.213 & 148.7 & 301.2 & -0.188 & 0.163 \\ -1017.1 & -459.8 & -678.4 & -1912.3 & -1343.9 & -872.6 & -1423.0 & -0.190 & 0.220 \\ -95.3 & 28.5 & -72.7 & -99.5 & 148.8 & 76.4 & -130.3 & -0.261 & 0.070 \\ -2655.1 & -713.9 & -1887.6 & -4458.6 & -1649.2 & -1214.7 & -3656.0 & 10.501 & -0.189 \\ -349.8 & -261.9 & -188.9 & -764.7 & -892.2 & -614.9 & -475.4 & -0.053 & -0.013 \\ -1195.8 & -591.7 & -745.2 & -2305.6 & -1815.6 & -1399.2 & -1631.6 & -0.084 & 0.023 \\ -3136.0 & -464.2 & -2288.7 & -4850.9 & -474.4 & -532.6 & -4323.1 & -0.252 & 0.031 \\ \hline 600.8 & 181.9 & 423.6 & 1030.9 & 451.7 & 318.5 & 827.9 & 0 & 0 \\ 1118.6 & 435.9 & 761.4 & 2024.8 & 1212.9 & 812.8 & 1.553 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

รูปที่ 6.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่านอร์ม  $H_2$  ที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานซึ่งเป็นผลมาจาก ตัวควบคุม PCS 100% ที่สังเคราะห์ได้ และตัวควบคุม LQG

จากรูปที่ 6.4 เมื่อกำหนดให้ความไม่แน่นอน  $(\delta_1, \delta_2)$  เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง  $[-1, 1]$  พบว่านอร์ม  $H_2$  ของระบบควบคุม PCS มีค่านอร์ม  $H_2$  สูงกว่าของระบบควบคุม LQG ในทุกช่วง แต่เมื่อพิจารณาในด้านของการประกันเสถียรภาพจะพบว่า ตัวควบคุม PCS ที่ออกแบบได้สามารถประกันเสถียรภาพของพารามิเตอร์ตามขอบเขตของเซกเตอร์ที่กำหนดไว้ได้ทั้งหมด 100%

### 6.3 ผลตอบสนองทางเวลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการกำลังไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลตอบสนองทางเวลาของผลตอบสนองทางเวลาในพื้นที่ 1 และ พื้นที่ 2 รวมถึงสัญญาณที่ใช้ควบคุมที่เกิดจากตัวควบคุม 2 ชนิด คือตัวควบคุม LQG ที่ออกแบบที่สภาวะระบุและตัวควบคุม PCS 100% เมื่อเกิดความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ 1 มีปริมาณมากขึ้น 1% ของฐานกำลังการผลิตใน

พื้นที่ 1 หรือเทียบเท่ากับ 10 เมกกะวัตต์ โดยสัญญาณมีลักษณะเป็นพัลส์ (pulse) เริ่มที่เวลา 0 วินาที เป็นเวลานาน 1 วินาที

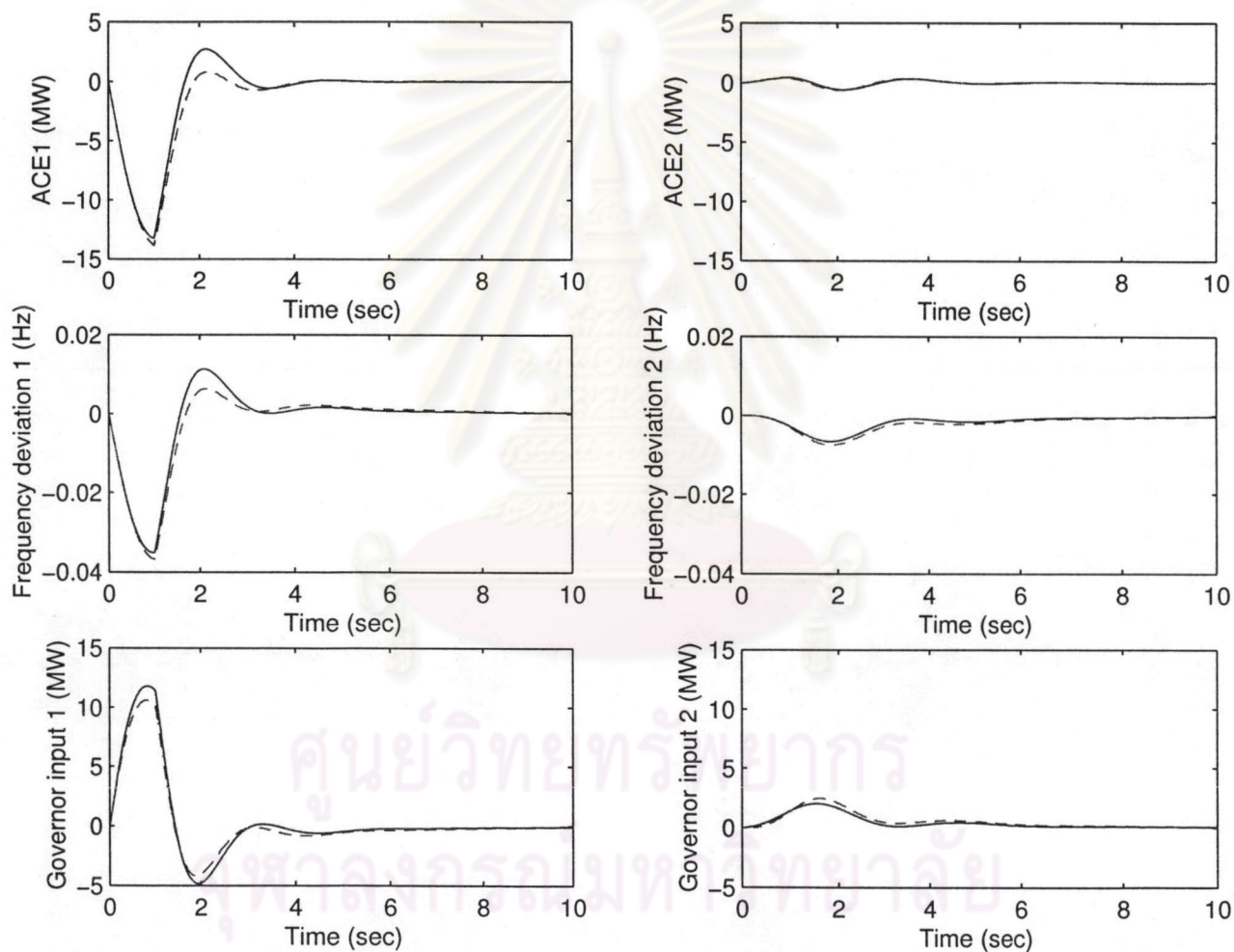
### 6.3.1 กรณีแปรค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์ไบน์

ในหัวข้อนี้เราทดสอบการตอบสนองทางเวลาที่เกิดขึ้นในจุดทำงาน 3 จุดคือ

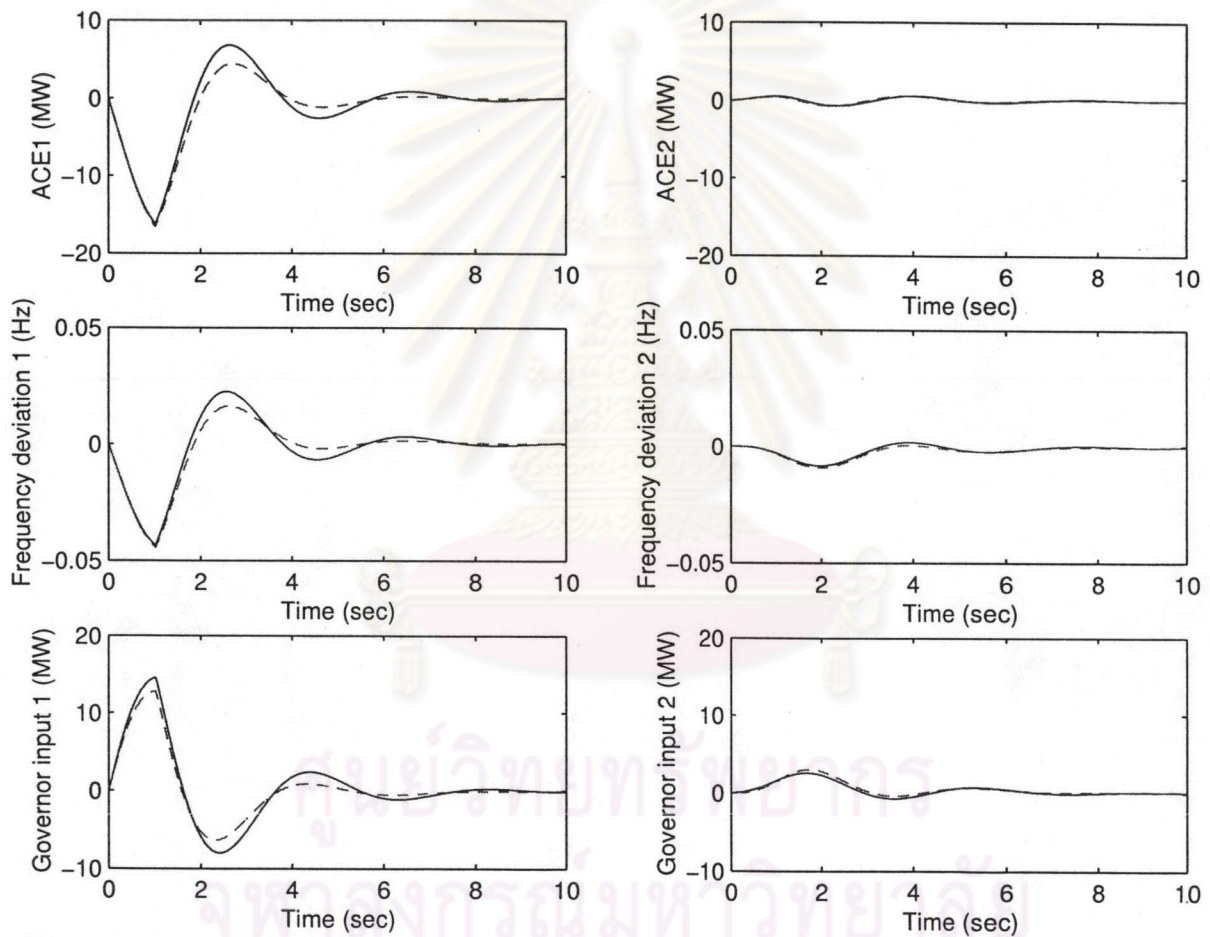
1. ค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์ไบน์เป็นค่าที่สภาวะระบุ  $1/T_{T1} = 3.125$  ดังแสดงในรูป 6.5
2. ค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์ไบน์เป็นค่าที่ขอบล่าง  $1/T_{T1} = 1.250$  ดังแสดงในรูป 6.6
3. ค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์ไบน์เป็นค่าที่ขอบบน  $1/T_{T1} = 5$  ดังแสดงในรูป 6.7

สัญญาณที่นำเสนอในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ ACE ซึ่งเป็นสัญญาณที่บอกปริมาณกำลังการผลิตที่เบี่ยงเบนจากสภาวะสมดุล, ค่าเบี่ยงเบนความถี่และสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์เพื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการควบคุม ผลตอบสนองมีสมรรถนะเชิงเวลาที่ต่างกัน เช่น ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของสัญญาณ และช่วงเวลาการเข้าที่

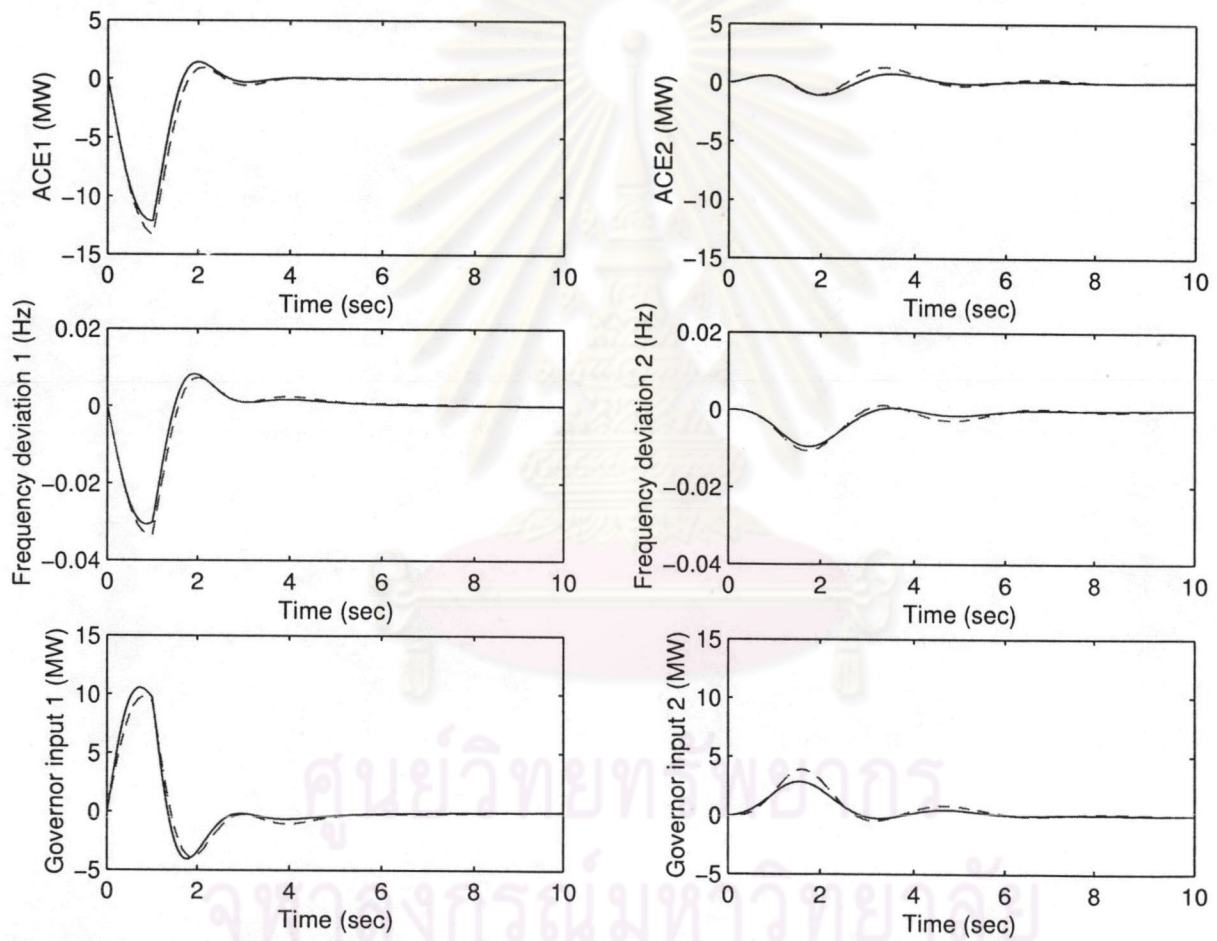




รูปที่ 6.5: ผลตอบสนองทางเวลาเมื่อ  $1/T_{T1} = 3.125$  เป็นค่าที่สภาวะระงับ (เส้นทึบเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม LQG และ เส้นประเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม PCS 100%)



รูปที่ 6.6: ผลตอบสนองทางเวลาเมื่อ  $1/T_{T1} = 1.250$  เป็นค่าที่ขบถ่าง (เส้นทึบเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม LQG และ เส้นประเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม PCS 100%)



รูปที่ 6.7: ผลตอบสนองทางเวลาเมื่อ  $1/T_{T1} = 5$  เป็นค่าที่ขอบบน (เส้นทึบเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม LQG และ เส้นประเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม PCS 100%)



ในกรณีแปรค่าคงตัวของเทอร์ไบน์ ผลตอบสนองทางเวลาของจุดทำงานทั้ง 3 จุดพบว่าสัญญาณ  $ACE_1$  ในพื้นที่ 1 มีค่าลดลงในช่วงเวลาเริ่มต้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการและส่งผลกระทบต่อความถี่ลดลง ดังนั้นตัวควบคุมจะทำหน้าที่เพิ่มกำลังการผลิตโดยการเพิ่มสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ เมื่อพิจารณาขนาดของสัญญาณ  $ACE_1$  และค่าเบี่ยงเบนความถี่ที่ได้จากตัวควบคุม PCS พบว่ามีขนาดน้อยกว่าที่ได้จากตัวควบคุม LQG ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีกว่าของตัวควบคุม PCS นอกจากนี้พบว่าสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์จากตัวควบคุม PCS มีขนาดน้อยกว่าตัวควบคุม LQG ทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการควบคุมมากกว่า ส่วนสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ในพื้นที่ 1 มีขนาดมากกว่า 10 เมกกะวัตต์เนื่องจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในพื้นที่ 1 มีขนาด 10 เมกกะวัตต์ จึงเป็นความรับผิดชอบของพื้นที่ 1 ในการเพิ่มกำลังการผลิตส่วนนี้

ในพื้นที่ 2 พบว่าสัญญาณ  $ACE_2$  ค่าเบี่ยงเบนความถี่ และสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ของตัวควบคุม PCS มีขนาดมากกว่าที่ได้จากตัวควบคุม LQG เล็กน้อย ในส่วนของสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ของพื้นที่ 2 ที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องจากโครงสร้างของตัวควบคุมที่ได้มีลักษณะเป็นตัวควบคุมแบบรวมศูนย์ (centralized controller) ทำให้เกิดการเชื่อมต่อ (coupling) ระหว่างสัญญาณรบกวนใน 2 พื้นที่ ซึ่งสัญญาณควบคุมเข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์นี้เป็นสัญญาณที่พื้นที่ 2 ใช้ในการปรับค่าเบี่ยงเบนความถี่ให้เข้าสู่ค่าศูนย์

ที่สภาวะระบุพบว่าตัวควบคุม PCS สามารถกำจัดผลของสัญญาณรบกวนได้ดี และสามารถควบคุมให้สัญญาณ  $ACE_1$  ในพื้นที่ 1 ที่ได้ มีค่าเบี่ยงเบนสูงสุดต่ำกว่าสัญญาณที่ได้จากตัวควบคุม LQG ส่วนเวลาเข้าที่มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการเบี่ยงเบนความถี่นั้นพบว่าตัวควบคุม PCS ให้ค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดต่ำกว่าตัวควบคุม LQG และสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ที่ได้จากตัวควบคุม PCS มีค่าต่ำกว่า

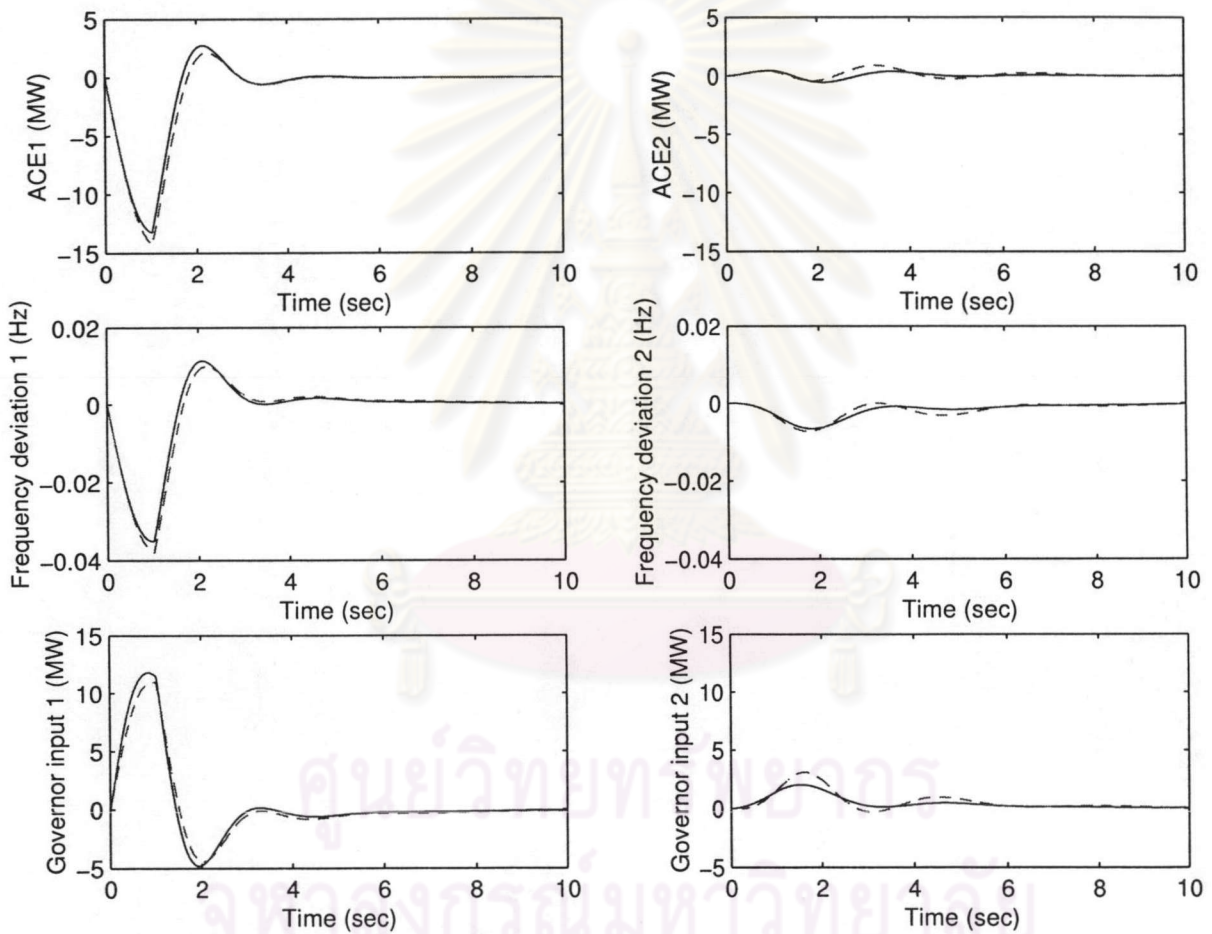
นอกจากนี้พบว่าเมื่อ  $1/T_{T1}$  มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่สภาวะระบุ ดังรูปที่ 6.6 และ 6.7 สังเกตสัญญาณทั้ง 3 คือ  $ACE_1$ , ค่าเบี่ยงเบนความถี่ และสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ของตัวควบคุม PCS มีค่าเบี่ยงเบนสูงสุดและช่วงเวลาเข้าที่น้อยกว่าที่ได้จากตัวควบคุม LQG ดังนั้นตัวควบคุม PCS ให้ผลตอบสนองทางเวลาที่ดีกว่าตัวควบคุม LQG

### 6.3.2 กรณีแปรค่าคงตัวทางเวลาของเทอร์ไบน์และค่าสัมประสิทธิ์เชิงโครโมสโทริก

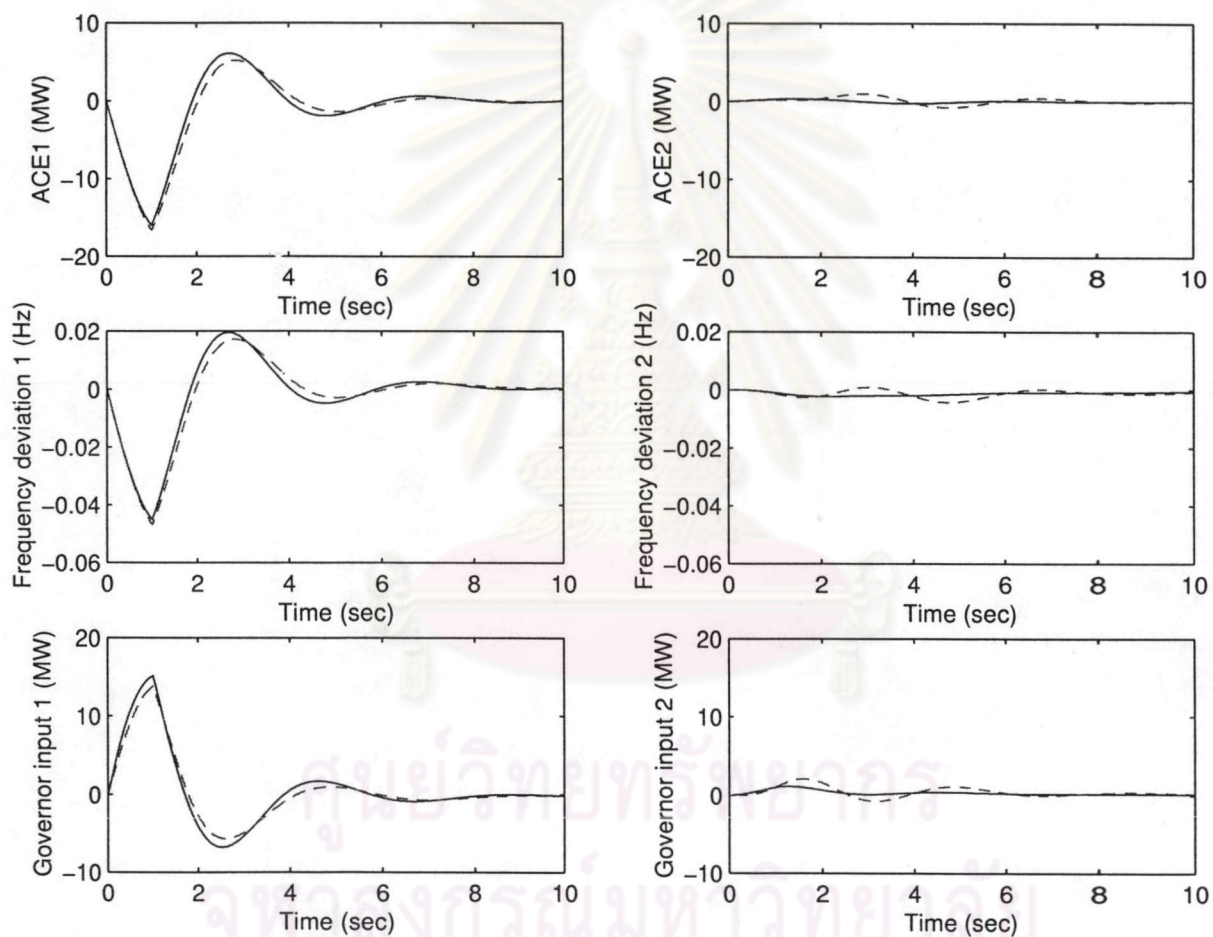
ในหัวข้อนี้เราทดสอบการตอบสนองทางเวลาที่เกิดขึ้นในจุดทำงาน 3 จุดคือ

1. เมื่อพารามิเตอร์เป็นค่าที่สภาวะระบุ  $1/T_{T1} = 3.125$  และ  $T_{12} = 3.223$  ดังแสดงในรูป 6.8
2. เมื่อพารามิเตอร์เป็นค่าที่ขอล่าง  $1/T_{T1} = 1.250$  และ  $T_{12} = 1.223$  ดังแสดงในรูป 6.9
3. เมื่อพารามิเตอร์เป็นค่าที่ขอบบน  $1/T_{T1} = 5$  และ  $T_{12} = 5.224$  ดังแสดงในรูป 6.10

สัญญาณที่นำเสนอในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ ACE ซึ่งเป็นสัญญาณที่บอกปริมาณกำลังการผลิตที่เบี่ยงเบนจากสภาวะสมดุล, ค่าเบี่ยงเบนความถี่และสัญญาณควบคุมที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์เพื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการควบคุม ผลตอบสนองมีสมรรถนะเชิงเวลาที่ต่างกัน เช่น ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของสัญญาณ และช่วงเวลาการเข้าที่

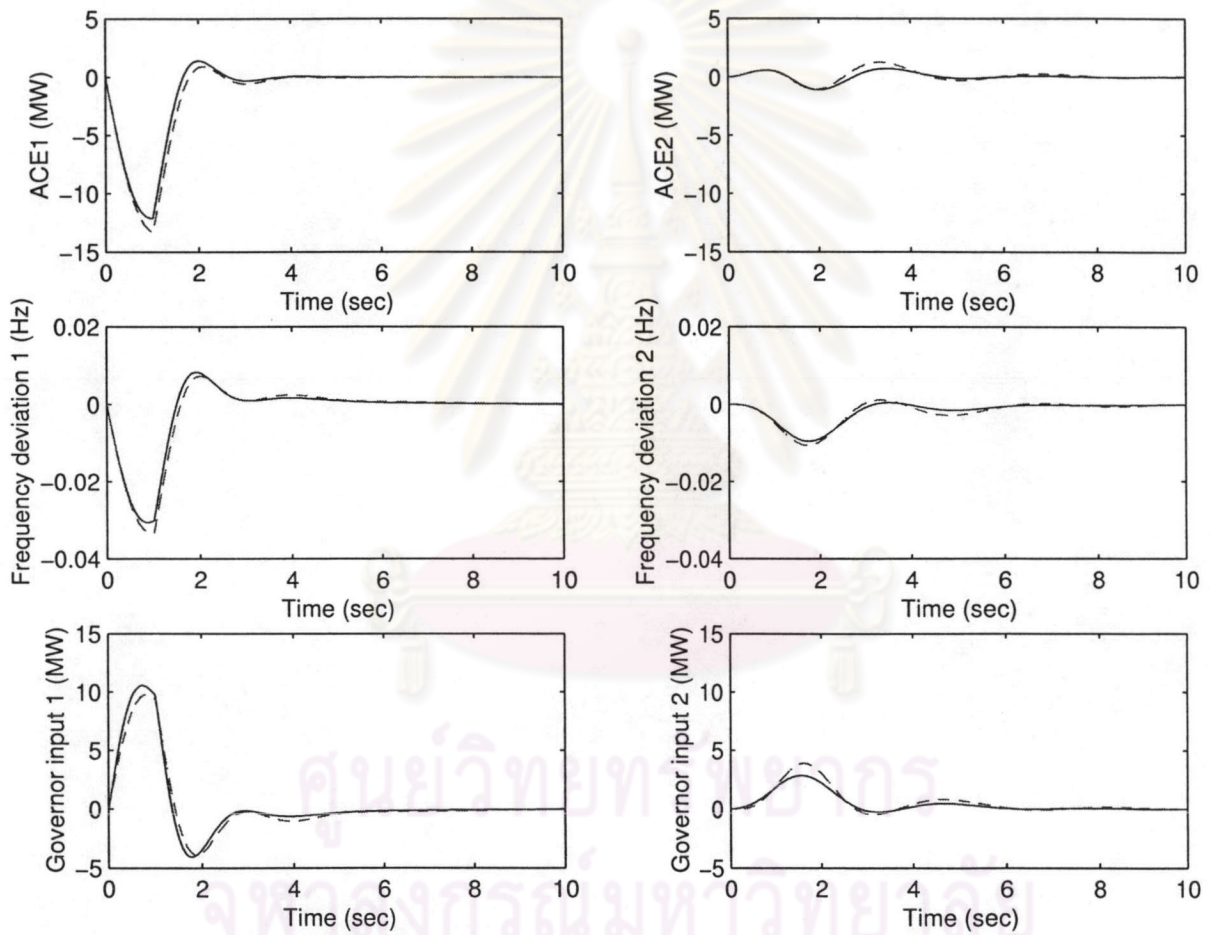


รูปที่ 6.8: ผลตอบสนองทางเวลาของระบบเมื่อ  $1/T_{T1} = 3.125$  และ  $T_{12} = 3.223$  เป็นค่าที่สภาวะระบุ (เส้นทึบเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม LQG และ เส้นประเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม PCS 100%)



รูปที่ 6.9: ผลตอบสนองทางเวลาของระบบเมื่อ  $1/T_{T1} = 1.250$  และ  $T_{12} = 1.223$  เป็นค่าที่ขอล่าง (เส้นทึบเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม LQG และ เส้นประเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม PCS 100%)





รูปที่ 6.10: ผลตอบสนองทางเวลาของระบบเมื่อ  $1/T_{T1} = 5$  และ  $T_{12} = 5.224$  เป็นค่าที่ขอบบน (เมื่อเส้นทึบเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม LQG และ เส้นประเป็นผลตอบที่ได้จากตัวควบคุม PCS 100%)

ในกรณีแปรค่าคงตัวของเทอร์ไบน์และค่าสัมประสิทธิ์เชิงโคโรไนซ์ทอร์ก พบว่า สัญญาณ  $ACE_1$  ในพื้นที่ 1 มีค่าลดลงในช่วงเวลาเริ่มต้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการและยังส่งผลให้ความถี่ลดลง ดังนั้นระบบควบคุมจะทำหน้าที่เพิ่มการผลิตโดยการเพิ่มสัญญาณควบคุมเข้าที่เข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ โดยตัวควบคุม PCS สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาขนาดของสัญญาณ  $ACE_1$  และค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดที่ได้จากตัวควบคุม PCS จะมีขนาดน้อยกว่าที่ได้จากตัวควบคุม LQG เล็กน้อย

ขณะที่ในพื้นที่ 2 พบว่าสัญญาณ  $ACE_2$  ค่าเบี่ยงเบนความถี่ และสัญญาณควบคุมเข้าตัวบังคับเทอร์ไบน์ ของตัวควบคุม PCS มีขนาดมากกว่าที่ได้จากตัวควบคุม LQG เล็กน้อย

ถ้าพิจารณาผลตอบสนองทางเวลาที่เกิดขึ้นใน 2 พื้นที่พบว่าจุดทำงานทั้ง 3 จุดนั้นตัวควบคุม PCS ให้ผลตอบสนองใกล้เคียงกับตัวควบคุม LQG และมีแนวโน้มว่าเมื่อ  $1/T_{T1}$  มีค่าน้อยลงจะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพลดลง สังเกตได้จากในพื้นที่ 2 เมื่อค่าพารามิเตอร์เป็นค่าที่ขบถ่วงพบว่าสัญญาณควบคุมมีขนาดมากกว่าในจุดทำงานอื่น

#### 6.4 สรุป

ในบทนี้นำเสนอตัวอย่างการสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนของสำหรับระบบกำลังการผลิตและความถี่โดยระบบที่พิจารณามี 2 กรณี คือกรณีของการแปรค่า  $T_{T1}$  และกรณีของการแปรค่า  $T_{T1}$  และ  $T_{T2}$  พร้อมกัน จากขั้นตอนการออกแบบมีประสิทธิภาพดี เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ตัวควบคุมคงทนที่ทำให้ค่าสมรรถนะกรณีเลวสุดมีค่าลดลงได้อย่างต่อเนื่อง และหยุดการสังเคราะห์ตัวควบคุมด้วยเงื่อนไขที่กำหนด นอกจากนี้เราพบว่าเมื่อค่าพารามิเตอร์เบี่ยงเบนไปจากค่าที่สภาวะระบุนั้นตัวควบคุม LQG ให้ค่านอร์ม  $H_2$  ที่เพิ่มขึ้นและไม่สามารถประกันสมรรถนะได้ ในขณะที่ตัวควบคุม PCS มีคุณสมบัติที่ดีกว่าในด้านการประกันสมรรถนะในช่วงขอบเขตที่กำหนด จากการทดลองยังพบว่าเกิดการชดเชยข้อดีข้อเสียระหว่างขนาดของเซกเตอร์กับค่าสมรรถนะ  $H_2$  กรณีเลวสุด จากการทดสอบผลตอบสนองทางเวลาพบว่า กรณีแรกนั้นตัวควบคุม PCS ที่สังเคราะห์ได้นั้นสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ดี และให้ขนาดของสัญญาณควบคุมที่เข้าเทอร์ไบน์มีขนาดต่ำกว่าตัวควบคุม LQG ขณะที่ในกรณีที่สองนั้น ตัวควบคุม PCS ที่สังเคราะห์ได้มีผลตอบสนองเชิงเวลาได้ดีใกล้เคียงกับตัวควบคุม LQG