

การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจาย

บทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977) พร้อมทั้งผลการจำลองเชิงเลข และในตอนท้ายจะเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีที่ Calovic (1972, 1973) ได้เคยเสนอมาก่อนซึ่งกล่าวมาแล้วในบทที่ 3

บทนำ

ดังที่ได้กล่าวในตอนแรกถึงการควบคุมแบบกระจาย การควบคุมแบบกระจายคือการควบคุมระบบที่แบ่งระบบใหญ่ออกเป็นระบบย่อยหลายระบบที่เหมาะสมตามธรรมชาติของระบบนั้น และให้แต่ละระบบย่อยมีการควบคุมเป็นของตนเอง การบ่อนกลับของตัวควบคุมของแต่ละระบบย่อยใช้สารสนเทศเฉพาะท้องถิ่นที่สามารถวัดได้เองในระบบย่อยนั้น โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันว่า การควบคุมระบบขนาดใหญ่ที่ได้ผลจริงในทางปฏิบัติคือ การควบคุมแบบกระจาย จากข้างต้นมี ปัญหาที่ตามมาคือ ระบบขนาดใดจึงจัดว่าเป็นระบบขนาดใหญ่ Jamshidi(1983) ได้ให้นิยามว่า ระบบที่พิจารณาจัดเป็นระบบขนาดใหญ่ก็ต่อเมื่อ

ก) ระบบนั้นสามารถแบ่งออกเป็นระบบย่อยหลายระบบที่เชื่อมโยงกันเพื่อเหตุผลในทางคำนวณหรือเพื่อเหตุผลอื่นในแง่ของการปฏิบัติจริง

หรือ ข) ระบบนั้นมีขนาดของมิติใหญ่มากจนกระทั่งเทคนิคต่าง ๆ ของการควบคุมแบบรวมคู่ศูนย์ (Chen, 1984) ล้มเหลวไม่สามารถใช้ได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อระบบนั้นต้องการตัวควบคุมที่มากกว่าหนึ่งตัว

ดังนั้นเห็นได้ว่าการควบคุมแบบกระจาย ตัวควบคุมจะมีจำนวนตั้งแต่สองตัวขึ้นไป การตัดสินใจของตัวควบคุมเหล่านั้นอาจเป็นไปในลักษณะของกลุ่มที่ร่วมมือกันหรือขัดแย้งกันภายใต้วัตถุประสงค์อันเดียวกันหรือหลายอันก็ได้ ทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมแบบกระจายทั้งในด้านการวิเคราะห์และการออกแบบดูเพิ่มเติมได้จาก Sandell et al.(1978), Jamshidi(1983) และ Singh(1981) ส่วนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในบทที่ 5 จะนำเสนอการควบคุมแบบกระจายโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจซึ่งตัวควบคุมมีวัตถุประสงค์ในการดำเนินการที่ต่างกันภายใต้ความไม่ร่วมมือกัน

ระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขตที่เชื่อมโยงกันเป็นตัวอย่างอันหนึ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนของระบบขนาดใหญ่ ระบบย่อยแต่ละระบบหรือระบบไฟฟ้ากำลังแต่ละเขตซึ่งปกคลุมพื้นที่เชิงภูมิศาสตร์ที่กว้างใหญ่มากและแบ่งแยกจากกันโดยการพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์ จะเชื่อมโยงกันด้วยเส้นเชื่อมต่อเท่านั้น เมื่อใช้การควบคุมแบบรวมศูนย์ตัวควบคุมในแต่ละเขตต้องอาศัยสารสนเทศของเขตอื่นในการป้อนกลับ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนสารสนเทศกันระหว่างเขตเป็นระยะทางไกล ๆ เป็นผลให้การปรับปรุงผลตอบชั่วคราวของระบบ LFC ด้วยการควบคุมแบบรวมศูนย์ใช้ไม่ได้ผล

LFC แบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977)

จากผลการจำลองเชิงเลขในบทที่ 3 เห็นได้ว่า ในการปรับปรุงผลตอบชั่วคราวของระบบ LFC ตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกสามารถชดเชยแทนตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะได้เป็นอย่างดี ตัวควบคุมดังกล่าวใช้การวัดซึ่งมีอยู่แล้วในระบบไฟฟ้ากำลังมาใช้ในการป้อนกลับ ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการทำให้เป็นจริงสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างสารสนเทศดังกล่าวเป็นแบบรวมศูนย์ การนำตัวควบคุมดังกล่าวไปใช้ในการปฏิบัติจริงจึงยังเป็นไปได้อีก แต่จากผลของ Calovic (1973) เห็นได้ว่าการควบคุมในแต่ละเขตค่อนข้างที่จะเกี่ยวข้องเฉพาะตัวแปรในเขตนั้น โดยสังเกตได้จากอัตราขยายป้อนกลับที่คำนวณได้ อัตราขยายป้อนกลับเนื่องจากตัวแปรจากเขตอื่น ๆ มักจะมีค่าน้อย ดังนั้นทางปฏิบัติจริงอาจใช้ตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกโดยตัดผลการป้อนกลับจากเขตอื่น และใช้ตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศย่อยดังกล่าวแทน แต่วิธีดังกล่าวได้ผลไม่ดีนักคือ ไม่รับประกันเสถียรภาพของระบบวงปิดและคำตอบดังกล่าวไม่ใช่ว่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด คำตอบที่เหมาะสมกว่านี้ยังคงหาได้ ต่อมา Calovic (1977) จึงเสนอวิธีการควบคุมระบบ LFC แบบกระจายที่แก้ไขข้อเสียของการควบคุมแบบรวมศูนย์เพื่อให้การควบคุมทำได้ง่ายในความเป็นจริงมากขึ้น โดยการประยุกต์ทฤษฎีที่ถูกคิดค้นและเสนอโดย Bengtsson et al. (1974)

พิจารณาระบบ LFC ดังในสมการ (3.24) และดัชนีสมรรถนะดังสมการ (3.31) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะดังที่เสนอใน Calovic (1972) ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 กฎการควบคุมของระบบคือ

$$w(t) = -K_p * x(t) - K_I * v(t) \quad (4.1)$$

$$\text{โดยที่ } F = [K_p^*, K_I^*] = R^{-1} B^T K = [F_1^* T, F_2^* T]^T \quad (4.2)$$

และ K เป็นเมตริกซ์มิติ $n \times n$ และเป็นคำตอบของสมการพีชคณิตของ Riccati

$$\hat{A}^T K + K \hat{A} - K \hat{B} R^{-1} \hat{B}^T K + Q = 0 \quad (4.3)$$

ระบบวงปิดที่ใช้กฎการควบคุมดังกล่าวคือ

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{w}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & Bv \\ -K_p^* A - K_I^* D & -K_p^* Bv \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E \\ -K_p^* E \end{bmatrix} z(t), \quad \begin{bmatrix} x(0) \\ w^*(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ w_0^* \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ค่าไอเกนของระบบวงปิดดังกล่าวหาได้จากเมตริกซ์ของระบบวงปิดใน (4.4)

$$A_c^* = \begin{bmatrix} A & Bv \\ -K_p^* A - K_I^* D & -K_p^* Bv \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

ตัวควบคุมแบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977) มีโครงสร้างดังในรูปที่ 2.15 การวัดของระบบ LFC ในแต่ละเขตมีดังนี้

$$y^i(t) = [\Delta P_{Ti}, \Delta P_{Hi}, \Delta f_i, \Delta P_{I2}, v_i]^T = C^i \tilde{x} \quad (4.6)$$

โดยที่ ΔP_{Ti} เป็นการเบี่ยงเบนของกำลังขาออกของเทอร์ไบน์พลังไอน้ำในเขตที่ i

ΔP_{Hi} เป็นการเบี่ยงเบนของกำลังขาออกของเทอร์ไบน์พลังน้ำในเขตที่ i

Δf_i เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่ในเขตที่ i

ΔP_{I2} เป็นการเบี่ยงเบนของกำลังงานจริงในเส้นเชื่อมต่อ

v_i เป็นอินทิกรัลของ ACE ในเขตที่ i

เห็นได้ว่าตัวแปรเหล่านี้มีการวัดอยู่แล้วในระบบไฟฟ้ากำลังคล้ายกับที่เสนอนางานวิจัยของ LFC ที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกของ Calovic (1973) แต่กฎการควบคุมของแต่ละเขตถูกจำกัดโดยใช้เฉพาะสัญญาณออกที่วัดได้ในเขตของตนเท่านั้น คือ

$$\begin{aligned} w_i(t) &= -F^i y^i(t) \\ &= -K_{pi} y_{pi}(t) - K_{Ii} v_i(t) \end{aligned} \quad (4.7)$$

หรือ $F^i = [K_{pi}, K_{Ii}]$ นั่นเอง (4.8)

ระบบวงปิดเมื่อใช้กฎการควบคุมแบบกระจายใน (4.7) จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{w}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & Bv \\ -K_p C A - K_I D & -K_p C B v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E \\ -K_p C E \end{bmatrix} z(t), \quad \begin{bmatrix} x(0) \\ w(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ w_0 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

ในกรณีของโมเดลระบบ LFC ที่มีสองเขตที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เมตริกซ์ K_p และ K_I มีลักษณะดังนี้

$$K_p = \begin{matrix} \longleftarrow K_{p1} \longrightarrow \\ \begin{bmatrix} x & x & x & x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & x & x & x \end{bmatrix}, \quad K_I = \begin{bmatrix} K_{I1} & 0 \\ 0 & K_{I2} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.10)$$

$$\longleftarrow K_{p2} \longrightarrow$$

โดยที่ x หมายถึงสมาชิกที่ไม่เป็นศูนย์

จุดประสงค์ในการเลือกอัตราขยายย้อนกลับของแต่ละเขตคือ หาอัตราขยายย้อนกลับที่ทำให้ปริภูมิไอเกนของระบบวงปิดที่ควบคุมแบบกระจายใกล้เคียงกับปริภูมิไอเกนที่สมนัยกับค่าไอเกนที่เด่นของระบบวงปิดที่ใช้ตัวควบคุมแบบเลี้ยงเสถียรในสมการ (4.1) - (4.4) จุดประสงค์ดังกล่าวสามารถสร้างปัญหาการทำให้อร์มน้อยที่สุด (norm minimization) และเขียนเป็นภาษาทางคณิตศาสตร์ได้คือ

$$\min_{F_i} \| (F_i C^i S^q - F_i^* S^q) W \|, \quad i = 1, 2 \quad (4.10)$$

โดยที่ W เป็นนอนซิงกูลาร์เมตริกซ์ (nonsingular) ขนาด $q \times q$ ที่ใช้ถ่วงน้ำหนักสำหรับค่าไอเกนที่เลือกใช้

S^q เป็นเมตริกซ์จริงขนาด $q \times n$ ซึ่งเป็นปริภูมิไอเกนที่สมนัยกับค่าไอเกน q ตัวของเมตริกซ์ A_c^* ในสมการ (4.5)

นิยามของปริภูมิไอเกน กำหนดให้ A เป็นเมตริกซ์ของจำนวนจริงมิติ $n \times n$ ซึ่งมีค่าไอเกน e_1, e_2, \dots, e_n ตามลำดับ ปริภูมิไอเกนของ A ที่สมนัยกับค่าไอเกนจำนวน q ตัว ($q \leq n$) เขียนได้เป็น

$$S^q(A) = [v_1, v_2, \dots, v_q] \quad (4.11)$$

โดยที่ v_i เป็นเวกเตอร์ไอเกนที่สมนัยกับค่าไอเกนที่ i (e_i)

เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณเลขจำนวนเชิงซ้อนในกรณีที่ e_i เป็นจำนวนเชิงซ้อน ในกรณีที่มียค่าไอเกนจริง r ตัว ($r \leq q$) และค่าไอเกนเชิงซ้อน ($q-r$) ตัว $S^q(A)$ เขียนได้เป็น

$$S^q(A) = [v_1, v_2, \dots, v_r, \text{Re}\{v_{r+1}\}, \text{Im}\{v_{r+1}\}, \dots, \text{Re}\{v_{(q-r)/2}\}, \text{Im}\{v_{(q-r)/2}\}] \quad (4.12)$$

คำตอบของปัญหาดังกล่าวใน (4.10) สามารถหาคำตอบ (ถ้ามี) เป็นรูปแบบปิด (closed-form formula) คือ

$$F_i = F_i^* S^q W (C^i S^q W)^T [(C^i S^q W)(C^i S^q W)^T]^{-1}, \quad i = 1, 2 \quad (4.13)$$

ในกรณีของโมเดลระบบ LFC ที่มีสองเขตที่ใช้กันที่นี้ ค่าไอเกนของระบบควบคุมแบบ

เล็ง เลิศาน (4.1) ถึง (4.5) แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ค่าไอเก้นของระบบควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่เลือกใช้คือ

$$-5 \leq \operatorname{Re}\{e_i(Ac^*)\} \leq -4 \quad (4.14)$$

และ
$$\operatorname{Re}\{e_i(Ac^*)\} \geq -1 \quad (4.15)$$

ค่าไอเก้นของระบบควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่เลือกใช้พร้อมกับค่าถ่วงน้ำหนักของ พ แสดงไว้ในตาราง ที่ 4.2 เมื่อคำนวณปริภูมิไอเก้นโดยวิธีของ Grad et al. (1968) ค่าของอัตราขยายบ้อน กลับของตัวควบคุมที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบันทึกรณีของการ ควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การบ้อนกลับสัญญาณออกาน Calovic (1973)

สมรรถนะของระบบวงปิดพิจารณาได้จากผลตอบชั่วครู่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ โหลดดีมานด์ที่มีลักษณะ เป็นฟังก์ชันขั้นขนาด 0.01 pu. ผลตอบชั่วครู่ของระบบได้จากสมการ (4.9)-(4.10) โดยสมมติว่าสภาวะเริ่มแรกของระบบทั้งหมดเป็นศูนย์ รูปที่ 4.1 ถึง 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ระหว่างการไว้ตัวควบคุมแบบกระจายดังกล่าวกับตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การบ้อนกลับสัญญาณออก จากการศึกษาที่ผลตอบของระบบวงปิดดังกล่าวสรุปได้ ดังนี้คือ

ก) การไว้ตัวควบคุมแบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977) ยังคงให้ ผลตอบอยู่ตัวของ Δf_1 , Δf_2 และ ΔP_{12} เป็นศูนย์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการบ้อนกลับอินทิกรัล ของ ACE ในแต่ละเขตนั้นเอง

ข) เมื่อเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ระหว่างการไว้ตัวควบคุมทั้งสองแบบ ตัว ควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การบ้อนกลับสัญญาณออกให้ผลตอบชั่วครู่ของระบบที่ต้องการได้ดีกว่าตัว ควบคุมแบบกระจายดังกล่าวค่อนข้างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามการไว้ตัวควบคุมแบบกระจาย ดังกล่าวยังคงสามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ให้ดีขึ้นกว่าการไว้ตัวควบคุมที่นิยมใช้ กันได้ กล่าวคือ การแกว่งของ ΔP_{12} , Δf_1 และ Δf_2 ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและผลตอบชั่วครู่ เข้าสู่ภาวะอยู่ตัวภายในเวลาประมาณ 40 วินาที

ค) ตัวควบคุมแบบกระจายดังกล่าวมีโครงสร้างที่เรียบง่าย ตัวควบคุมของแต่ละ เขตใช้การบ้อนกลับของสัญญาณออกที่อยู่เขตของตนเท่านั้น และในความเป็นจริงสัญญาณออก ที่ใช้ในการบ้อนกลับก็มีการวัดอยู่แล้วในระบบไฟฟ้ากำลังได้แก่ กำลังขาออกของเทอร์ไบน์ ความถี่ ของระบบ และ กำลังจริงในเส้นเชื่อมต่อ ดังนั้นการไว้ตัวควบคุมแบบกระจายดังกล่าวในการ ปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ด้วยการบ้อนกลับสัญญาณออกจากเทอร์ไบน์ จึงมีความเป็นไป

ได้สูงในการทำให้เป็นจริง โดยอาศัยโครงสร้างที่มีอยู่แล้วในระบบไฟฟ้ากำลังที่ชักันทุกวันนี้ จากแนวความคิดที่ใช้คำนวณอัตราขยายย้อนกลับของตัวควบคุมแบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977) เห็นได้ว่าความสำเร็จในการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของ เมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก Q, R และ P ให้เหมาะสม ขั้นตอนแรกของการออกแบบคือการเลือกค่า Q และ R ที่เหมาะสม ซึ่งเหมือนกับขั้นตอนในการออกแบบตัวควบคุม LQ ทั่วไป หลังจากนั้นจึงเลือกค่า P ที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ระบบควบคุมแบบกระจายที่ได้มีสมรรถนะใกล้เคียงกับระบบควบคุมที่ได้จากขั้นตอนแรก ข้อเสียของวิธีดังกล่าวที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คือ คำตอบที่ได้จากการทำให้อร์มน้อยที่สุดไม่ได้รับประกันว่าระบบวงปิดที่ได้จะมีเสถียรภาพแบบแอสซิมโทติก การเลือกค่า P ที่เหมาะสมซึ่งทำให้ระบบวงปิดมีเสถียรภาพและผลตอบของระบบเป็นที่น่าพอใจจะมีปัญหาอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระบบมีมิติที่สูง ในกรณีของโมเดลระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสอง เขตที่ใช้มีจำนวนสถานะทั้งสิ้น 19 ตัว การเลือก P เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมเริ่มเห็นถึงปัญหาดังกล่าว

สรุป

จากข้อเสียของการควบคุมแบบรวมศูนย์สำหรับระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังหลาย เขตที่เชื่อมโยงกัน Calovic (1977) ได้เสนอตัวควบคุมแบบกระจายสำหรับระบบ LFC เพื่อลดข้อเสียดังกล่าว ตัวควบคุมที่เสนอมีคุณสมบัติพอสรุปได้คือ

ก) กฎการควบคุมเป็นการป้อนกลับเชิงเส้นแบบคงที่ และไม่ขึ้นกับผลของสัญญาณรบกวนทางโหลดเนื่องจากการใช้การป้อนกลับแบบสัดส่วนอินทิกรัล

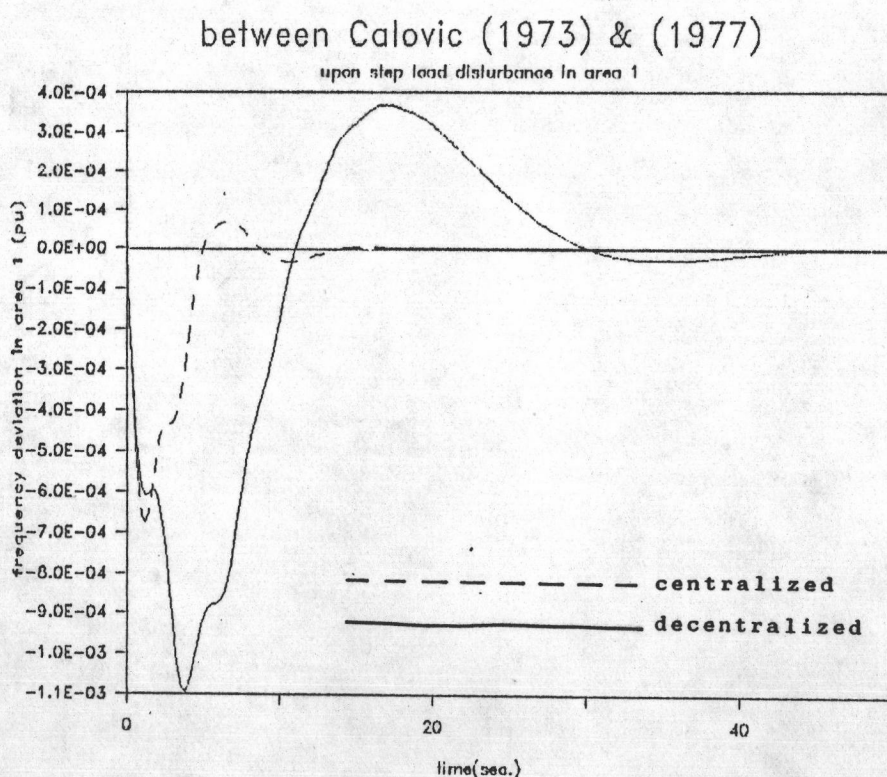
ข) ผลตอบอยู่ที่ตัวของ Δf และ ΔP_{tie} เป็นศูนย์เสมอเหมือนกับการใช้ตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน

ค) สามารถปรับปรุงผลตอบชั่วคราวของระบบให้ดีขึ้นกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน

ง) ตัวควบคุมของแต่ละเขตเป็นแบบกระจาย และใช้การป้อนกลับของสัญญาณออกที่วัดได้ในเขตของตนเท่านั้น

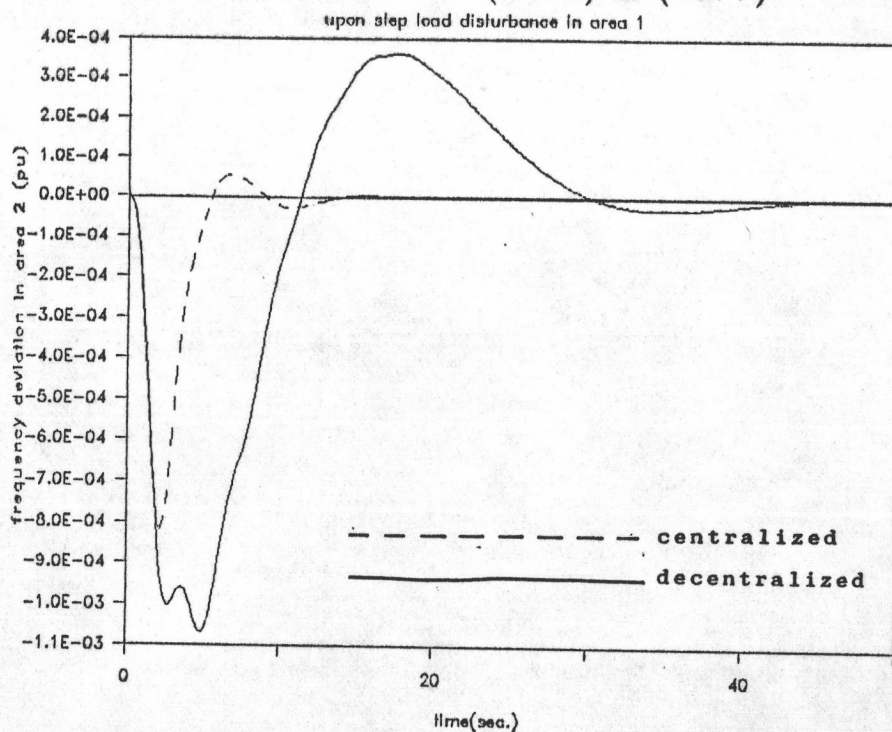
จ) ตัวควบคุมที่เสนอใช้โครงสร้างที่มีอยู่เดิมของระบบ LFC แบบที่นิยมใช้กัน ทำให้ประยุกต์หลักการดังกล่าวกับระบบ LFC ที่มีอยู่ ณ ปัจจุบันได้ง่าย สำหรับตัวควบคุมที่เสนอดังกล่าวได้ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกของ เทอร์ไบน์เพิ่มขึ้นจากโครงสร้างที่มีอยู่แล้วในระบบ LFC แบบที่นิยมใช้กัน ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาใช้งานจริง

จากผลการจำลองเชิงเลขแสดงให้เห็นว่า แนวความคิดของ Calovic (1977) สามารถใช้ปรับปรุงผลตอบชั่วคราวของระบบ LFC ได้ ถึงแม้ว่าสมรรถนะของผลตอบจะไม่ดีเท่าการใช้ตัวควบคุมแบบรวมศูนย์ แต่ตัวควบคุมแบบกระจายจะให้ผลดีกว่าในแง่ของการปฏิบัติการที่ตัวควบคุมสามารถให้สมรรถนะที่ดีกว่าแต่นำมาใช้จริงไม่ได้นั้นไม่มีความหมาย หัวใจของวิธีที่ Calovic (1977) ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมระบบ LFC แบบกระจายอยู่ที่ การเลือกค่าของเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก Q, R และ P ที่เหมาะสม



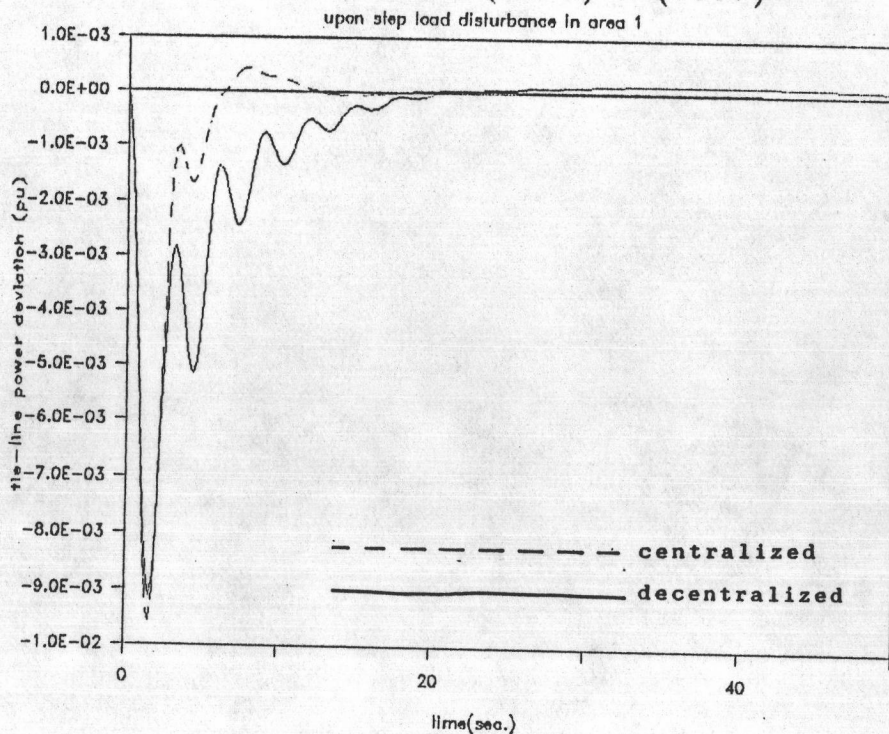
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วคราวของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็งเลิศที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออก

between Calovic (1973) & (1977)



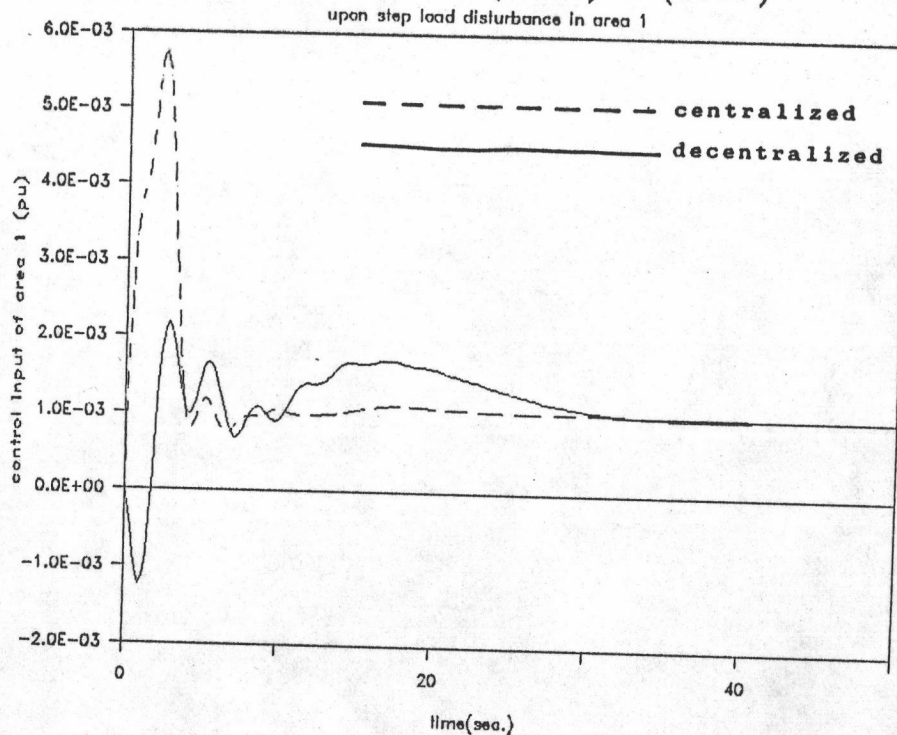
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออก

between Calovic (1973) & (1977)



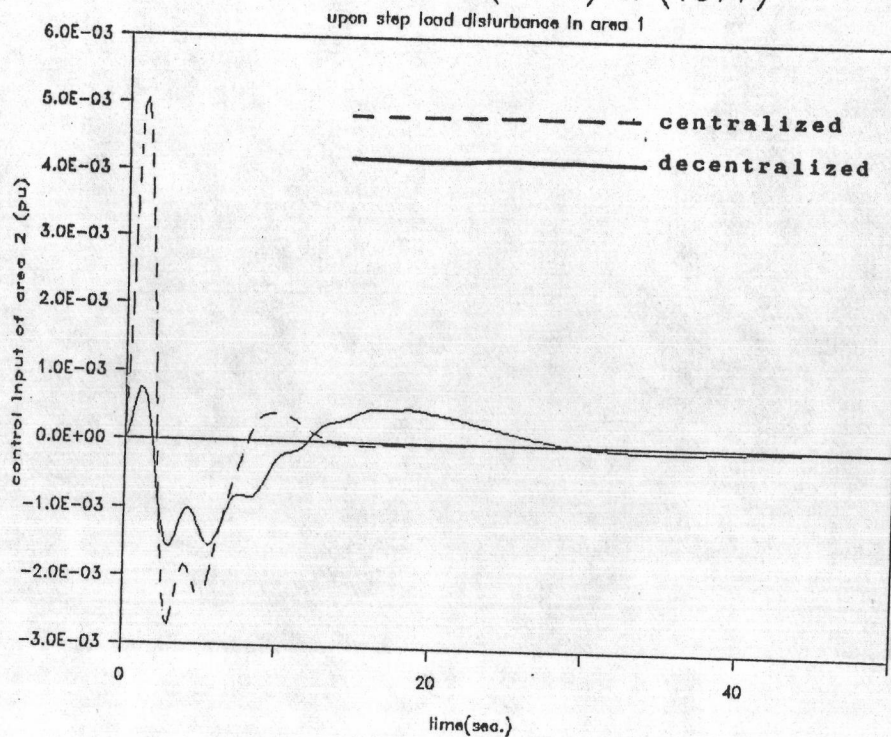
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออก

between Calovic (1973) & (1977)



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก

between Calovic (1973) & (1977)



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก

ระบบควบคุมเชิง เลิศ	ระบบควบคุมแบบกระจาย
-5.0007	-4.540
-5.0010	-4.394
-4.5441	-4.040
-4.4028	-2.827 + j 0.1317
-1.9968	-2.827 - j 0.1317
-1.9933	-2.120
-1.3991	-1.778
-1.3878	-1.104
-0.5791 + j 2.1994	-0.4598 + j 0.5447
-0.5791 - j 2.1994	-0.4598 - j 0.5447
-0.5322 + j 0.7375	-0.3629 + j 0.5214
-0.5322 - j 0.7375	-0.3629 - j 0.5214
-0.5201 + j 0.2827	-0.2536 + j 0.5214
-0.5201 - j 0.2827	-0.2536 - j 2.1609
-0.4613 + j 0.1139	-0.1237 + j 0.1994
-0.4613 - j 0.1139	-0.1237 - j 0.1994
-0.4792	-0.1165
-0.08531	-0.0652 + j 0.0374
-0.07013	-0.0652 - j 0.0374

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าไอเก็นของระบบ LFC ที่ใช้ตัวควบคุมระหว่างเชิง เลิศ ที่ใช้การป้อนกลับสถานะ และ แบบกระจายที่คำนวณได้

ค่าไอเกนที่เลือก	$w = \text{diag}(w_{ii}), q = 13$
-4.5441	1.00
-4.4028	0.986
-0.5791 + j 2.1994	0.127
-0.5791 - j 2.1994	0.127
-0.5322 + j 0.7375	0.117
-0.5322 - j 0.7375	0.117
-0.5201 + j 0.2827	0.114
-0.5201 - j 0.2827	0.114
-0.4613 + j 0.1139	0.101
-0.4613 - j 0.1139	0.101
-0.4792	0.105
-0.08531	0.019
-0.07013	0.017

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าไอเกนที่เลือกใช้ในการคำนวณตัวควบคุมแบบกระจาย พร้อมทั้งค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้

CASES	FEEDBACK GAINS									
	ΔP_{T1}	ΔP_{T2}	ΔP_{H1}	ΔP_{H2}	Δf_1	Δf_2	ΔP_{12}	v_1	v_2	
OUTPUT	w_1	0.3616	-0.0331	0.3567	0.0105	3.5987	3.2176	-0.1767	0.2478	-0.0229
FEEDBACK	w_2	-0.0232	0.5746	0.0076	0.3905	3.0711	5.5773	0.1985	-0.0088	0.3472
CALOVIC (1977)	w_1	1.433		0.0313		-0.9406		-0.2653	0.1981	
	w_2		1.409		0.0345		0.3507	0.1668		0.1271

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของตัวควบคุมระหว่างแบบเลี้ยง เลิศที่ทำการ

บို့แกลล์สัณญาคอก และ แบบกระจายที่ค่านาฬได้