# บทที่ 5

# การทำโปรแกรมเชิงเส้นปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยทฤษฎีเรื่องความไวของค่าเจาะจงที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และในการทำโปรแกรมเชิงเส้นใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (simplex method)[4] ซึ่งจะกล่าวไว้ในภาคผนวก ก.

## 5.1 ฟังก์ชันเป้าหมาย

จากสมการที่ (2.20)

$$\Delta\lambda_i = \varphi_i^T \Delta A(\Delta K)\phi_i = \Delta\lambda_i(\Delta K) \tag{5.1}$$

เนื่องจากในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจะพิจารณาจากส่วนจริงของค่าเจาะจงตัวที่เด่น ซึ่งจะต้องมีค่าเป็นลบดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 แต่ต้องพิจารณาผลจากอัตราส่วนการหน่วงด้วย ทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายมีรูปเป็นดังนี้ [7]

$$\begin{aligned}
\text{minimize} \quad & J(\Delta K) = \mathrm{Re}[\Delta\lambda_i(\Delta K)] \\
\text{subject to} \quad & \mathrm{Re}[\Delta\lambda_t] \le a \\
& \mathrm{Im}[\Delta\lambda_t] \le b \\
& \Delta K_{min} \le \Delta K \le \Delta K_{max}
\end{aligned} \tag{5.2}$$

โดย $J(\Delta K)$ คือส่วนจริงของการลดลงของค่าเจาะจงตัวที่เด่น

$i$ คือตำแหน่งของค่าเจาะจงตัวที่เด่น

$t$ คือตำแหน่งของค่าเจาะจงตัวอื่น ๆ ที่ไม่รวมตัวที่ $i$

a และ b คือค่าที่ต้องการให้ส่วนจริง หรือส่วนจินตภาพของค่าเจาะจง ตามลำดับที่ต้องการให้มีค่าลดลงหรือ เพิ่มขึ้นตามที่ระบบต้องการในรอบการคำนวณซ้ำนั้น ๆ

$\Delta K_{min}$ และ $\Delta K_{max}$ คือขอบเขตล่างและขอบเขตบนของ $\Delta K$

**5.2 ขั้นตอนในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในการติดตั้งตัวปรับเสถียรภาพ**[7]

เนื่องจากระบบที่พิจารณาจริงๆ แล้วเป็นระบบไม่เชิงเส้นที่ทำการประมาณเป็นระบบเชิงเส้น การเลือกค่าเริ่มต้นในการคำนวณที่ต่างกัน จะให้คำตอบไปตกอยู่ ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง ดังนั้นค่าที่เหมาะสมที่หาได้นั้น จะเป็นค่าเหมาะสมที่สุดในแต่ละบริเวณเท่านั้น ในการแก้ปัญหานี้ จึงเสนอวิธีการคือ ใช้วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้ได้ผลตอบของระบบที่ดีก่อน โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูก (trial and error) เพื่อให้ได้ค่าที่จุดเริ่มต้นมีค่าที่ดีพอที่จะเริ่มทำโปรแกรมเชิงเส้น

และในกรณีที่ทำการประมาณระบบเป็นระบบเชิงเส้น โดยการแตกอนุกรมเทเลอย์รอบๆ จุดทำงาน การปรับค่าตัวแปรของตัวปรับเสถียรภาพจึงต้องปรับค่าทีละน้อยๆ ทำให้ต้องมีรอบการคำนวณที่มากขึ้น จึงสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้นของระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมจากการลองผิดลองถูกก่อน จากนั้นหาค่าเจาะจงของระบบ และระบุค่าเจาะจงที่เด่น รวมทั้งคำนวณเวกเตอร์เจาะจงทั้งทางซ้ายและขวาของค่าเจาะจงที่เด่นออกมา

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณเงื่อนไขบังคับ (constraints) และหาฟังก์ชันเป้าหมายตามสมการที่ (2.20)

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดขอบเขตบน และขอบเขตล่าง ของค่า $\Delta K$ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้มีขนาดไม่เกิน 1% ของค่า K เนื่องจากสมการเชิงเส้นในสมการ (2.20) เป็นการกระจายมาจากอนุกรมเทเลอย์ซึ่งต้องมี $\Delta K$ ที่มีขนาดเล็ก ๆ และจากการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ ซึ่งการใช้ค่า $\Delta K$ ในรูปแบบนี้ทำให้รอบของการคำนวณไม่มากเกินไปและการลดลงของค่าเจาะจงในการคำนวณแต่ละรอบมีความต่อเนื่องกัน

ขั้นตอนที่ 5 ทำโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาค่า $\Delta K$ ที่เหมาะสมในรอบนั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 6 พิจารณาค่า $\Delta\lambda_i$ ที่ได้จากรอบการทำโปรแกรมเชิงเส้น ถ้ามีค่ามากกว่าศูนย์ให้ลดขอบเขตบนและล่างของ $\Delta K$ ลง แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 5 อีกครั้ง แต่หากไม่สามารถทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าเจาะจงที่เด่นมีค่าเป็นลบได้ ให้หยุดการทำงาน และไปทำในขั้นตอนที่ 8

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> พิจารณาความเหมาะสมของค่าเจาะจงที่เด่น โดยการพิจารณาค่าดัชนีซึ่งดัชนีที่ใช้คือขนาดของอัตราส่วนการหน่วงของค่าเจาะจงที่เด่น ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \qquad (5.3)$$

โดย $\zeta$ คือค่าอัตราส่วนการหน่วงของค่าเจาะจงที่เด่น

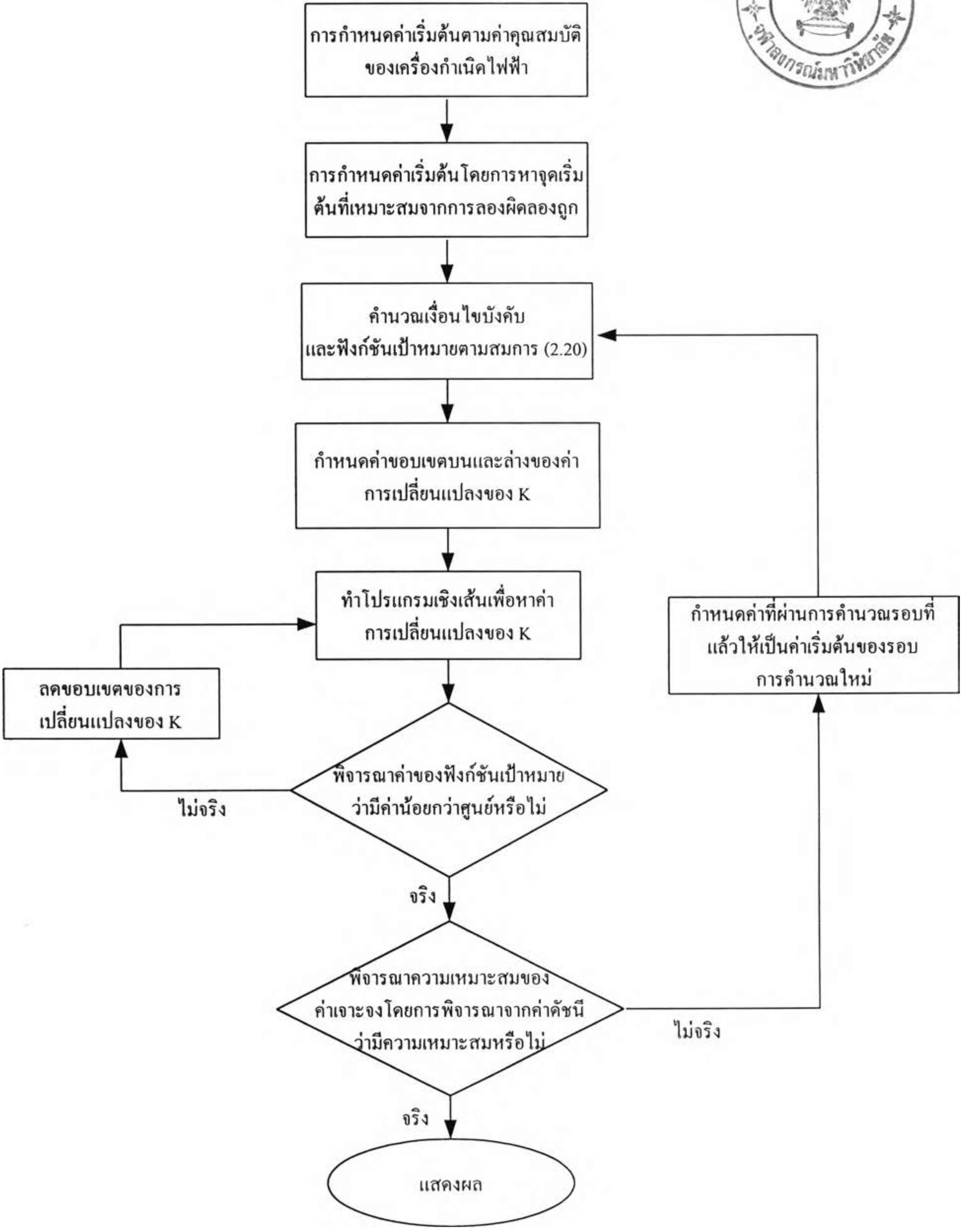
$\sigma$ คือค่าส่วนจริงของค่าเจาะจงตัวที่เด่น(dominant eigenvalue)

$\omega$ คือค่าส่วนจินตภาพของค่าเจาะจงตัวที่เด่น

ถ้าหากค่าอัตราส่วนการหน่วงที่คำนวณออกมายังมีความเหมาะสมไม่เพียงพอ จะต้องกับไปทำขั้นตอนที่ 2 อีกครั้ง

<u>ขั้นตอนที่ 8</u> แสดงผล

ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเขียนเป็นแผนภาพขั้นตอนได้ดังรูปที่ 5.1




รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ

ในการทำโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการลดค่าของค่าเจาะจงที่เด่น โดยการปรับลดส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นก่อน หลังจากนั้นจึงปรับลดส่วนจินตภาพของค่าเจาะจงที่เด่นแทนนั่นคือในช่วงแรกจะใช้ส่วนจริงของการเปลี่ยนแปลงของค่าเจาะจงที่เด่นหรือ $\mathrm{Re}[\Delta\lambda_i(\Delta K)]$ เป็นฟังก์ชันเป้าหมายก่อน เมื่อค่าดัชนีมีค่าเหมาะสมแล้ว จึงเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมายมาเป็นส่วนจินตภาพของการเปลี่ยนแปลงค่าเจาะจงที่เด่นหรือ $\mathrm{Im}[\Delta\lambda_i(\Delta K)]$ แทน ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถปรับเปลี่ยนการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายได้ดังต่อไปนี้

1) ปรับลดส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นก่อนแล้วพิจารณาค่าดัชนี แล้วจึงปรับลดค่าส่วนจินตภาพของค่าเจาะจงที่เด่นนั้น
2) ปรับลดส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าเจาะจงที่เด่นไปพร้อมกัน
3) ปรับลดส่วนจินตภาพของค่าเจาะจงที่เด่นก่อนแล้วจึงพิจารณาค่าดัชนี แล้วจึงปรับลดค่าส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นนั้น

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมแล้ว วิธีดังข้อ 1) มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากต้องการลดส่วนจริงของค่าเจาะจงซึ่งมีผลในการลดขนาดของการแกว่งของสัญญาณออกก่อนทำให้สัญญาณที่มีการแกว่งหายไปรวดเร็ว และจากสมการ (5.3) จะเห็นว่าวิธีในข้อ 2) และ 3) จะทำให้ดัชนีมีความเหมาะสมก่อน แต่ส่วนจริงของค่าเจาะจงอาจจะยังมากอยู่จึงทำให้ยุ่งยากต่อการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายในรอบการคำนวณต่อไปเมื่อเทียบกับวิธีในข้อ 1) และจากการทดลองพบว่าวิธีที่ 1) สามารถลดค่าส่วนจริงของค่าเจาะจงได้ดีที่สุดใน 3 วิธี ดังตัวอย่าง 5.1

**ตัวอย่าง 5.1**[1,7]

จากรูป 4.2 กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เป็นดังนี้

$$H = 3.5 \quad K_d = 0 \quad K_1 = 0.7643 \quad K_2 = 0.8649 \quad K_3 = 0.3230 \quad K_4 = 1.4187$$
$$K_5 = -0.1463 \quad K_6 = 0.4168 \quad T_R = 0.02 \quad K_{stab} = 9.5 \quad T_w = 1.4 \quad T_1 = 0.154$$
$$T_2 = 0.033 \quad T_3 = 2.365 \quad K_A = 200$$

เมื่อทำโปรแกรมเชิงเส้นจากค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดมาแสดงเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธีดังตารางที่ 5.1.1

ตารางที่ 5.1.1 ค่าเจาะจงและค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของระบบในตัวอย่าง 5.1 เมื่อผ่านการทำโปรแกรมเชิงเส้น

| | ค่าเริ่มต้น | วิธีที่ 1 | วิธีที่ 2 | วิธีที่3 |
|---|---|---|---|---|
| ค่าเจาะจง | -39.0969 | -36.7922 | -36.2246 | -182.9570 |
| | -1.0052+j6.6071 | -3.0741 | -10.5808+j7.3910 | -2.1618+j1.0331 |
| | -1.0052-j6.6071 | -9.3942+j6.0825 | -10.5808-j7.3910 | -2.1618-j1.0331 |
| | -0.7388 | -9.3942-j6.0825 | -6.3790+j2.9639 | -10.0475 |
| | -19.7970+j12.8213 | -9.3818+j3.5925 | -6.3790-j2.9639 | -23.7081+j12.0653 |
| | -19.7970-j12.8213 | -9.3818-j3.5925 | -4.9775 | -23.7081-j12.0653 |
| พารามิเตอร์ | | | | |
| $K_{stab}$ | 9.5 | 30.7434 | 29.7461 | 53.9471 |
| $T_w$ | 1.4 | 0.5865 | 0.5071 | 0.8576 |
| $T_1$ | 0.154 | 0.0583 | 0.0623 | 0.0594 |
| $T_2$ | 0.033 | 0.0395 | 0.0440 | 0.0052 |
| รอบการคำนวณ | 0 | 154 | 62 | 217 |

จากตัวอย่างที่ 5.1 จะเห็นว่าส่วนจริงค่าเจาะจงที่มากที่สุด (เฉพาะที่มีส่วนจินตภาพอยู่ด้วย) ของระบบในวิธีที่ 2 และ 3 มีค่ามากกว่าในวิธีที่ 1 ทำนองเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น และจากการผลตอบของระบบเชิงเส้นของระบบตัวอย่างที่ 5.1 เมื่อเกิดการรบกวนด้วยการเพิ่มโหลดเข้าไปที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 0.01 pu เป็นเวลา 0.1 วินาที จะได้ผลตอบเชิงเวลาของ $\Delta\delta$ และ $\Delta\omega_r$ ดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณในกรณีที่ใช้วิธีที่ 1 จะหายไปรวดเร็วกว่าวิธีที่ 2 และ 3 เนื่องจากส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นมีค่าต่ำที่สุด แต่ค่าการพุ่งเกินของสัญญาณมีค่าสูงกว่าวิธีที่ 3 และมีค่าใกล้เคียงกับวิธีที่ 2 แต่เนื่องจากจุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ต้องการการหายไปของสัญญาณรบกวนเป็นหลักจึงเลือกใช้วิธีที่ 1 เป็นวิธีที่ใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ

## 5.3 การกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย

ในช่วงแรกของการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ จะใช้ส่วนจริงของความไวของค่าเจาะจงที่เด่นเป็นฟังก์ชันเป้าหมายก่อนเนื่องจากต้องการจะปรับส่วนจริงของค่าเจาะจงเป็นจุดประสงค์หลัก หลังจากนั้นเมื่อได้ค่าดัชนีที่ต้องการแล้วจึงเปลี่ยนมาใช้ส่วนจินตภาพของความไวค่าเจาะจงที่เด่นเป็นฟังก์ชันเป้าหมายแทนเนื่องจากต้องการปรับส่วนจินตภาพของค่าเจาะจงที่เด่น

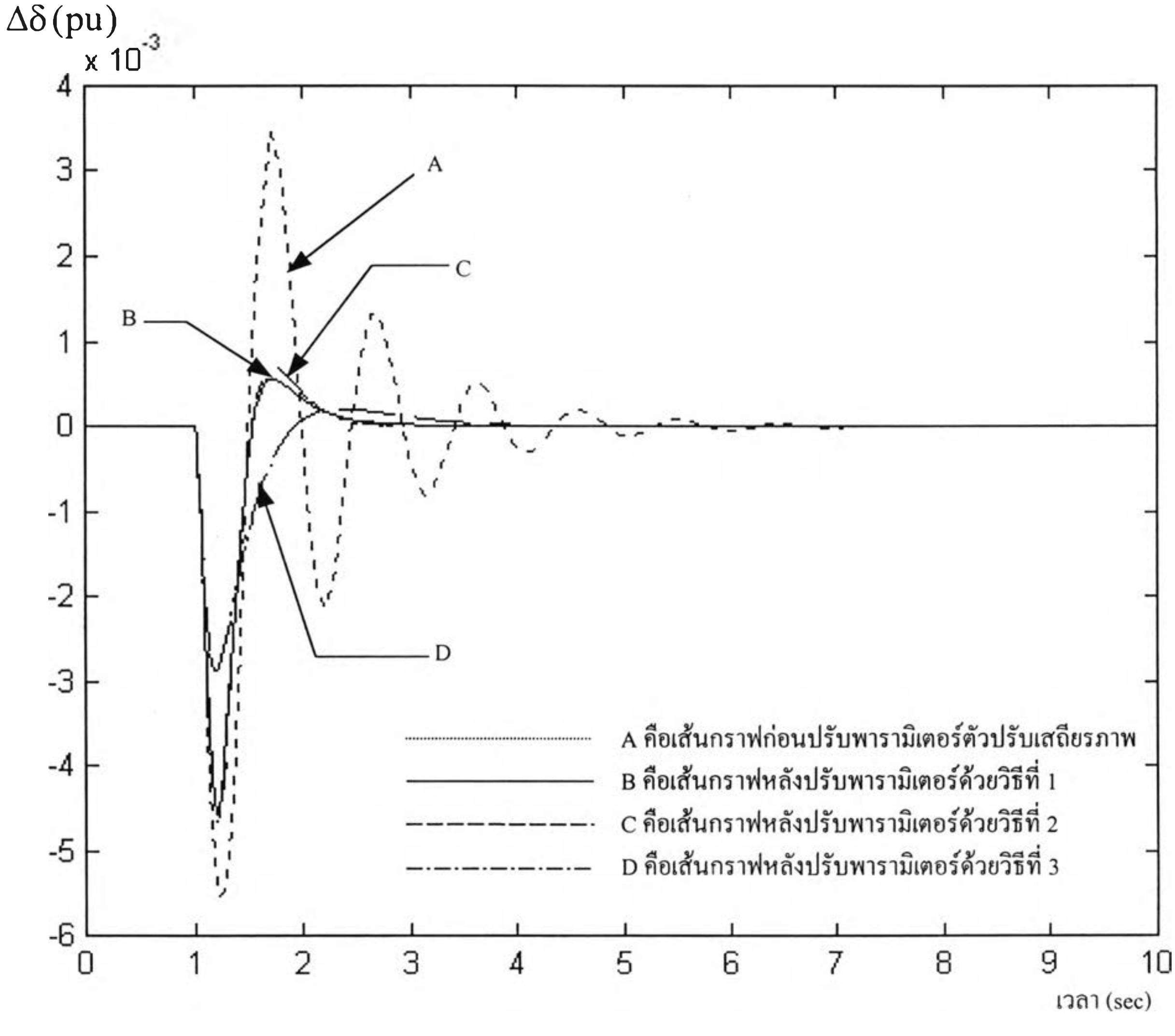
เป็นลำดับต่อมา โดยเงื่อนไขของการเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมายจากส่วนจริงของความไวค่าเจาะจงที่เด่นมาเป็นส่วนจินตภาพคือ ค่าดัชนีของค่าเจาะจงที่เด่นซึ่งผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนดค่าเองเช่น

- หากค่า $\zeta \leq 0.8$ จะใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นส่วนจริงของความไวของค่าเจาะจงที่เด่น
- หากค่า $\zeta > 0.8$ จะใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นส่วนจินตภาพของความไวของค่าเจาะจงที่เด่น
- หากค่า $\zeta \geq 0.9$ ให้เลิกทำงานเนื่องจากถือว่าเป็นค่าดัชนีที่ยอมรับได้

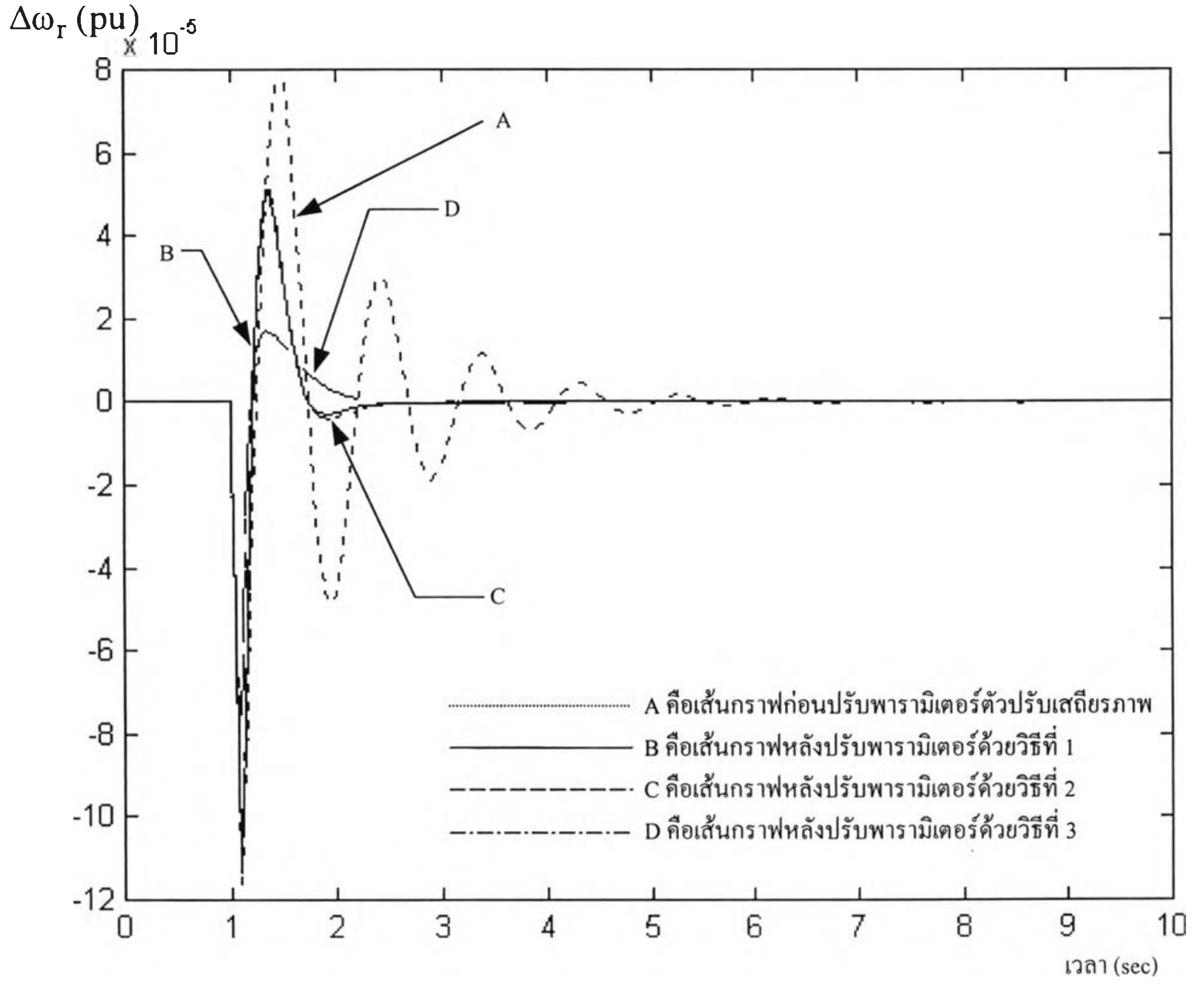
**5.4 การกำหนดเงื่อนไขบังคับ**

ในขั้นตอนที่ 3 การกำหนดค่า a และ b สำหรับเงื่อนไขบังคับของฟังก์ชันเป้าหมาย (5.2) กระทำดังนี้คือ

1) สำหรับเงื่อนไขบังคับ $\mathrm{Re}[\Delta\lambda_t] \leq a$ ค่า a พิจารณาจากค่าส่วนจริงของค่าเจาะจงในตำแหน่งนั้น ๆ หากส่วนจริงของค่าเจาะจงมีขนาดเป็นลบมาก ก็จะกำหนดค่า a เพื่ออนุโลมให้ค่าส่วนจริงนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นได้ ดังตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 5.1.1 ค่าเจาะจงเริ่มต้นของระบบตัวอย่างตัวแรกได้แก่ -39.0969 ถ้าต้องการให้ค่าเจาะจงตัวนี้มีค่าเพิ่มขึ้นมา โดยการกำหนดให้ค่า a มีค่าเท่ากับ 20 เป็นต้น แต่ถ้าส่วนจริงของค่าเจาะจงตัวนั้นยังคงมีค่ามากเช่น –0.7388 ก็จะกำหนดให้ค่า a มีค่าเป็นศูนย์
2) สำหรับเงื่อนไขบังคับ $\mathrm{Im}[\Delta\lambda_t] \leq b$ ค่า b จะกำหนดให้เป็นศูนย์ในคำนวณช่วงที่ต้องการปรับส่วนจริงของค่าเจาะจง เพราะในช่วงนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดค่าส่วนจริงของค่าเจาะจงเท่านั้น
3) เมื่อเปลี่ยนมาเป็นการปรับลดขนาดของส่วนจินตภาพของค่าเจาะจง ก็พิจารณาค่า a และ b ทำนองเดียวกับข้อ 1) และ 2)




รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงของ $\Delta\delta$ เมื่อเทียบกับเวลา




รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงของ $\Delta\omega_r$ เมื่อเทียบกับเวลา