

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากการที่ใช้โปรแกรมจำลองมาทำการจำลองบล็อกโคอะแกรมของตัวทำนายของสมิทและตัวทำนายเชิงวิเคราะห์ ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 ในบทที่ 2 ซึ่งการที่จะทำการจำลองนั้นก็ได้อ่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงรูปแบบต่างๆของกระบวนการ ที่จะทำการเลียนแบบ (Simulation) ซึ่งสามารถจำแนกได้ว่ามีกี่แบบและมีขั้นตอนเป็นอย่างไร

4.1 วิธีการทดลอง

ในการทำการทำเลียนแบบนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

- กรณีที่ 1 บล็อกโคอะแกรมที่มีอันดับของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเท่ากับ 2
- กรณีที่ 2 บล็อกโคอะแกรมที่มีอันดับของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเท่ากับ 4

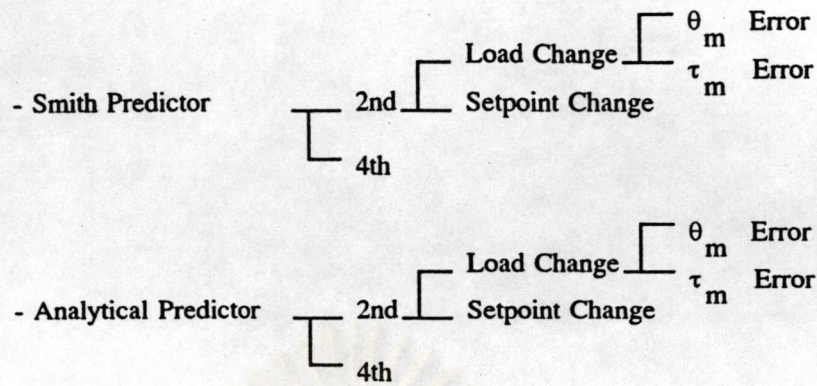
ในแต่ละกรณีสามารถแบ่งการทำเลียนแบบได้เป็น 2 ส่วนคือ

- ส่วนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงแบบเซ็ทพอยท์เปลี่ยน (Setpoint Change)
- ส่วนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงแบบโหลดเปลี่ยน (Load Change)

และในแต่ละส่วนยังสามารถแบ่งการทำเลียนแบบได้เป็น 2 แบบคือ

- ความผิดพลาดที่เกิดจากค่าเดดไทม์ (θ_m Error)
- ความผิดพลาดที่เกิดจากค่าคงที่ของเวลา (τ_m Error)

ดังนั้นจะสามารถสรุปขั้นตอนในการทำเลียนแบบได้ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนในการทำเลียนแบบ (Simulation)

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าในการทำเลียนแบบทั้งตัวทำนายของสมิทและตัวทำนายเชิงวิเคราะห์ จะมีด้วยกันทั้งหมด 16 กรณีคือ

ตัวทำนายของสมิท

- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีโหลดเปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีโหลดเปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีโหลดเปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีโหลดเปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด

ตัวทำนายเชิงวิเคราะห์

- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีโหลดเปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีโหลดเปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด

- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 2, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีโพลเปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีโพลเปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า θ_m ผิดพลาด
- ที่มีกระบวนการอันดับ 4, ที่มีเซ็ทพอยท์เปลี่ยนและมีค่า τ_m ผิดพลาด

และในแต่ละกรณีของค่า θ_m และ τ_m ผิดพลาด จะทำโดยให้มีการผิดพลาดเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่ง

จะขอกกล่าวในช่วงต่อไป

4.1.1 การกำหนดและปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร

ในการทำการเลียนแบบ (Simulation) นั้นจะมีตัวแปรที่กำหนดให้ต้องทำการปรับเปลี่ยนอยู่

2 ตัวคือ θ_m และ τ_m และในการปรับเปลี่ยนจะทำ 4 กรณีคือ

1. ค่า θ_m และ τ_m คงที่ (ไม่มีการผิดพลาด)
2. ค่า θ_m คงที่แต่ τ_m มีการผิดพลาดคือ 10%, 20%, 30%, -10%, -20%, และ -30%
3. ค่า τ_m คงที่แต่ θ_m มีการผิดพลาดคือ 10%, 20%, 30%, -10%, -20%, และ -30%

4.1.2 การจูนตัวควบคุมกระบวนการ

การจูนตัวควบคุมกระบวนการของตัวทำนายของสมิธจะใช้การจูนแบบซิกเลอร์-นิโกลส์ (Ziegler-Nicoles) ส่วนตัวทำนายเชิงวิเคราะห์จะใช้วิธีการควบคุมโมเดลภายในวงจร (Internal Model Control) ดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

4.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

การเปรียบเทียบผลการทดลองกระทำโดยเปรียบเทียบลักษณะของการตอบสนองและค่า ITAE ที่ได้จากการทำการเลียนแบบบล็อกไดอะแกรมตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นทั้งหมด

4.2 ผลการทดลอง

จากการทำหิมเลขจะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

4.2.1 ตัวทำนายของสมิธหิมเลขด้วยวิธีของซิกเลอร์-นิโกลส์ (Ziegler-Nicoles)

ก. กระบวนการเป็นแบบสมการอันดับ 2 (2nd Order)

$$G_p = \frac{e^{-2s}}{15s^2 + 8s + 1}$$

$$G_m = \frac{e^{-3s}}{7s + 1}$$

- ขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งตัวทำนายของสมิธ

จากการหิมเลขกระบวนการอันดับ 2 โดยการทำการไซเคิลอย่างต่อเนื่องเพื่อหาค่า K_{cu} และค่า P_{cu} ที่จะนำมาใช้คำนวณหาค่า พีไอดี โดยวิธีของ"ซิกเลอร์-นิโกลส์"จะได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า K_{cu} , P_{cu} และค่า พีไอดี ขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งตัวทำนายของสมิธ

| โหลดเปลี่ยน | | เซ็ทพอยท์เปลี่ยน | |
|-------------|--------|------------------|--------|
| K_{cu} | 4.9 | K_{cu} | 4.85 |
| P_{cu} | 12.86 | P_{cu} | 12.9 |
| P | 2.85 | P | 2.91 |
| I | 0.155 | I | 0.155 |
| D | 1.6075 | D | 1.6125 |
| ITAE | 129 | ITAE | 116 |

ผลของการตอบสนองของโหลดเปลี่ยนดูได้จาก หน้า 93

ผลของการตอบสนองของเซ็ทพอยท์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 105

- เมื่อติดตั้งตัวทำนายของสมิธโดยใช้ค่า พีไอดี ค่าเดิม ค่า ITAE ปรากฏดังตารางที่ 4.2 คือ

ตารางที่ 4.2 ผลของการทำจิมูเลชันกระบวนการอันดับ 2 ด้วยทำนายของสมิธ

โหลดเปลี่ยน

| ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE |
|------|------|----------|------------|------|
| L2 | 0 | 7 | 3 | 187 |
| L21 | 10 | 7.7 | 3 | 187 |
| L22 | 20 | 8.4 | 3 | 192 |
| L23 | 30 | 9.1 | 3 | 194 |
| L24 | -10 | 6.3 | 3 | 187 |
| L25 | -20 | 5.6 | 3 | 185 |
| L26 | -30 | 4.9 | 3 | 180 |
| L27 | 10 | 7 | 3.3 | 194 |
| L28 | 20 | 7 | 3.6 | 200 |
| L29 | 30 | 7 | 3.9 | 210 |
| L210 | -10 | 7 | 2.7 | 180 |
| L211 | -20 | 7 | 2.4 | 175 |
| L212 | -30 | 7 | 2.1 | 167 |

เซ็ทพอยท์เปลี่ยน

| ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE |
|------|------|----------|------------|------|
| S2 | 0 | 7 | 3 | 130 |
| S21 | 10 | 7.7 | 3 | 130 |
| S22 | 20 | 8.4 | 3 | 133 |
| S23 | 30 | 9.1 | 3 | 137 |
| S24 | -10 | 6.3 | 3 | 126 |
| S25 | -20 | 5.6 | 3 | 124 |
| S26 | -30 | 4.9 | 3 | 122 |
| S27 | 10 | 7 | 3.3 | 136 |
| S28 | 20 | 7 | 3.6 | 141 |
| S29 | 30 | 7 | 3.9 | 147 |
| S210 | -10 | 7 | 2.7 | 124 |
| S211 | -20 | 7 | 2.4 | 124 |
| S212 | -30 | 7 | 2.1 | 124 |

ผลของการตอบสนองของโหลดเปลี่ยนดูได้จาก หน้า 95 ถึง 103

ผลของการตอบสนองของเซ็ทพอยท์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 107 ถึง 115

ข. กระบวนการเป็นแบบสมการอันดับ 4 (4th Order)

$$G_p = \frac{e^{-6s}}{s^4 + 4s^3 + 6s^2 + 4s + 1}$$

$$G_m = \frac{e^{-7.3s}}{3s + 1}$$

- ขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งตัวทำนายของสมิธ

จากการหาค่าของกระบวนการอันดับ 4 โดยการทำการไซเคิลอย่างต่อเนื่องเพื่อหาค่า K_{cu} และค่า P_{cu} ที่จะนำมาใช้คำนวณหาค่า พีไอดี โดยวิธีของ"ซิกเลอร์-นิโคลส์"จะได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า K_{cu} , P_{cu} และค่า พีไอดี ขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งตัวทำนายของสมิธ

| โหลดเปลี่ยน | | เซ็ทพอยท์เปลี่ยน | |
|-------------|--------|------------------|-------|
| K_{cu} | 1.23 | K_{cu} | 1.21 |
| P_{cu} | 19.5 | P_{cu} | 19.61 |
| P | 0.738 | P | 0.73 |
| I | 0.1026 | I | 0.102 |
| D | 2.4375 | D | 2.45 |
| ITAE | 288 | ITAE | 477 |

ผลของการตอบสนองของโหลดเปลี่ยนดูได้จาก หน้า 117

ผลของการตอบสนองของเซ็ทพอยท์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 131

- เมื่อติดตั้งตัวทำนายของสมิธโดยใช้ค่า พีไอดี ค่าเดิม ค่า ITAE ปรากฏดังตารางที่ 4.4 คือ

ตารางที่ 4.4 ผลของการทำหิมูเลขันกระบวนการอันดับ 4 ตัวทำนายนของสมิธ

| โหลดเปลี่ยน | | | | | เซ็ทพอยท์เปลี่ยน | | | | |
|-------------|------|----------|------------|------|------------------|------|----------|------------|------|
| ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE | ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE |
| L4 | 0 | 3 | 7.3 | 364 | S4 | 0 | 3 | 7.3 | 218 |
| L41 | 10 | 3.3 | 7.3 | 382 | S41 | 10 | 3.3 | 7.3 | 221 |
| L42 | 20 | 3.6 | 7.3 | 390 | S42 | 20 | 3.6 | 7.3 | 221 |
| L43 | 30 | 3.9 | 7.3 | 393 | S43 | 30 | 3.9 | 7.3 | 221 |
| L44 | -10 | 2.7 | 7.3 | 390 | S44 | -10 | 2.7 | 7.3 | 214 |
| L45 | -20 | 2.4 | 7.3 | 380 | S45 | -20 | 2.4 | 7.3 | 214 |
| L46 | -30 | 2.1 | 7.3 | 375 | S46 | -30 | 2.1 | 7.3 | 214 |
| L47 | 10 | 3 | 8.03 | 408 | S47 | 10 | 3 | 8.03 | 247 |
| L48 | 20 | 3 | 8.76 | 446 | S48 | 20 | 3 | 8.76 | 245 |
| L49 | 30 | 3 | 9.49 | 483 | S49 | 30 | 3 | 9.49 | 295 |
| L410 | -10 | 3 | 6.57 | 361 | S410 | -10 | 3 | 6.57 | 192 |
| L411 | -20 | 3 | 5.84 | 325 | S411 | -20 | 3 | 5.84 | 167 |
| L412 | -30 | 3 | 5.11 | 298 | S412 | -30 | 3 | 5.11 | 149 |

ผลของการตอบสนองของโหลดเปลี่ยนดูได้จาก หน้า 119 ถึง 127

ผลของการตอบสนองของเซ็ทพอยท์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 131 ถึง 139

4.2.2 ตัวทำนายเชิงวิเคราะห์หิมูเลขด้วยวิธีของการควบคุมวงจรรภายใน (Internal Model Control)

ก. กระบวนการเป็นแบบสมการอันดับ 2 (2nd Order)

$$G_p = \frac{e^{-2s}}{15s^2 + 8s + 1} \quad G_m = \frac{e^{-3s}}{7s + 1}$$

$$G_c = \frac{z - 0.8669}{0.1331z} \quad A = \frac{3.2698z - 2.2698}{z}$$

- เมื่อติดตั้งตัวทำนายเชิงวิเคราะห์ค่า ITAE ปรากฏดังตารางที่ 4.5 คือ



ตารางที่ 4.5 ผลของการทำขุมเลขชั้นกระบวนการอันดับ 2 ตัวทำนายเชิงวิเคราะห์

| โพลด์เปลี่ยน | | | | | เซ็ทพอยท์เปลี่ยน | | | | |
|--------------|------|----------|------------|----------|------------------|------|----------|------------|----------|
| ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE | ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE |
| L2 | 0 | 7 | 3 | 11.6 | S2 | 0 | 7 | 3 | 6.2 |
| L21 | 10 | 7.7 | 3 | 25 | S21 | 10 | 7.7 | 3 | 15 |
| L22 | 20 | 8.4 | 3 | 62 | S22 | 20 | 8.4 | 3 | 108 |
| L23 | 30 | 9.1 | 3 | ∞ | S23 | 30 | 9.1 | 3 | ∞ |
| L24 | -10 | 6.3 | 3 | 13 | S24 | -10 | 6.3 | 3 | 28 |
| L25 | -20 | 5.6 | 3 | ∞ | S25 | -20 | 5.6 | 3 | ∞ |
| L26 | 10 | 7 | 3.3 | ∞ | S26 | 10 | 7 | 3.3 | ∞ |
| L27 | -10 | 7 | 2.7 | ∞ | S27 | -10 | 7 | 2.7 | ∞ |

ผลของการตอบสนองของโพลด์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 141 ถึง 148

ผลของการตอบสนองของเซ็ทพอยท์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 150 ถึง 157

ข. กระบวนการเป็นแบบสมการอันดับ 4 (4th Order)

$$G_p = \frac{e^{-6s}}{s^4 + 4s^3 + 6s^2 + 4s + 1}$$

$$G_c = \frac{z - 0.7165}{0.2835z}$$

$$G_m = \frac{e^{-7.3s}}{3s + 1}$$

$$A = \frac{5.4948z - 4.49488}{z}$$

- เมื่อติดตั้งตัวทำนายเชิงวิเคราะห์ค่า ITAE ปรากฏดังตารางที่ 4.6 คือ

ตารางที่ 4.6 ผลของการทำขุมเลขชั้นกระบวนการอันดับ 4 ตัวทำนายเชิงวิเคราะห์

| โหลดเปลี่ยน | | | | | เซ็ทพอยท์เปลี่ยน | | | | |
|-------------|------|----------|------------|----------|------------------|------|----------|------------|----------|
| ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE | ITEM | %ERR | τ_m | θ_m | ITAE |
| L4 | 0 | 3 | 7.3 | 28 | S4 | 0 | 3 | 7.3 | 30 |
| L41 | 10 | 3.3 | 7.3 | 36 | S41 | 10 | 3.3 | 7.3 | 50 |
| L42 | 20 | 3.6 | 7.3 | 250 | S42 | 20 | 3.6 | 7.3 | 410 |
| L43 | 30 | 3.9 | 7.3 | ∞ | S43 | 30 | 3.9 | 7.3 | ∞ |
| L44 | -10 | 2.7 | 7.3 | 42.5 | S44 | -10 | 2.7 | 7.3 | 63 |
| L45 | -20 | 2.4 | 7.3 | ∞ | S45 | -20 | 2.4 | 7.3 | ∞ |
| L46 | 10 | 3 | 8.03 | ∞ | S46 | 10 | 3.3 | 8.03 | ∞ |
| L47 | -10 | 3 | 6.57 | ∞ | S47 | -10 | 3.3 | 6.57 | ∞ |

ผลของการตอบสนองของโหลดเปลี่ยนดูได้จาก หน้า 159 ถึง 166

ผลของการตอบสนองของเซ็ทพอยท์เปลี่ยนดูได้จาก หน้า 168 ถึง 175

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ลักษณะของบล็อกไดอะแกรม, ลักษณะการตอบสนองและค่า ITAE จะปรากฏดังรูปที่ ก.3, ก.4ก และ ก.4ข

หลังจากติดตั้งตัวชดเชยเคดใหม่ของสมิธและมีความผิดพลาดของโมเดลจะพบว่า

ตารางที่ 5.1 ค่า τ_m มีความผิดพลาด (ดังรูป ก.5 ถึง ก.8)

| ลำดับ | รูปแบบการขมิฐเลข | ค่า ITAE | ลักษณะของการตอบสนองเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนติดตั้งตัวชดเชยเคดใหม่ |
|-------|---------------------------------|---|--|
| 1.1 | เพิ่มค่าความผิดพลาดของ τ_m | เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ τ_m ผิดพลาดมากขึ้นเรื่อยๆ | มีโอเวอร์ชูทเพิ่มขึ้นเล็กน้อยการแกว่งจะหมดไปและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เซ็ทพอยท์คงเดิม |
| 1.2 | ลดค่าความผิดพลาดของ τ_m | เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ τ_m ผิดพลาดมากขึ้นเรื่อยๆ | มีโอเวอร์ชูทเพิ่มขึ้นเล็กน้อยการแกว่งจะหมดไปและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เซ็ทพอยท์คงเดิม |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย