

2102331: การทดลองระบบควบคุมป้อนกลับ
ห้องปฏิบัติการพื้นฐานระบบควบคุม
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลอง CS01: การจำลองและวิเคราะห์ระบบพลวัตด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์

ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อจำลองและวิเคราะห์ระบบควบคุมของชุดการทดลองมอเตอร์ และกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้นิสิตสามารถเขียนแผนภาพกรอบโดยใช้ Simulink
2. เพื่อให้นิสิตสามารถแสดงผลตอบเชิงเวลาของระบบควบคุมโดยใช้ MATLAB/Simulink
3. เพื่อให้นิสิตสามารถแสดงทางเดินรากของระบบควบคุมโดยใช้ MATLAB
4. เพื่อให้นิสิตสามารถแสดงโพลของระบบควบคุมโดยใช้ MATLAB

1 บทนำ

การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (computer simulation) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบทางอุตสาหกรรม ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบพลวัต (dynamic system) นั้น เราต้องทราบพฤติกรรมการทำงาน และปัจจัยต่างๆของระบบที่ส่งผลต่อการทำงาน เช่น ผลตอบเชิงเวลา และผลตอบเชิงความถี่ หากมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ของระบบแล้ว เราสามารถทราบพฤติกรรมของระบบได้โดยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

หนึ่ง การศึกษาของแบบจำลองของระบบพลวัตสามารถแบ่งได้เป็น 2 เรื่องหลักๆ คือ ความง่ายของการสร้างแบบจำลองและความแม่นยำของระบบจำลอง ถ้าเราต้องการแบบจำลองที่แม่นยำมาก การสร้างแบบจำลองอาจจะต้องมีความซับซ้อน ในทางกลับกัน ถ้าเราสามารถยอมรับแบบจำลองที่ได้จากการประมาณคร่าวๆ แบบจำลองจะมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ในการทดลองนี้ จะเน้นการสร้างแบบจำลองที่เป็นเชิงเส้นและไม่แปรผันตามเวลา (Linear Time-Invariant) ซึ่งเป็นแบบจำลองอย่างง่ายและมีความแม่นยำจำกัด

ระบบเชิงเส้น หมายถึง ระบบที่ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและสัญญาณออก เป็นไปตามกฎการทับซ้อน (superposition) นั่นคือ ผลตอบสนองจากสัญญาณเข้าหลายสัญญาณ มีค่าเท่ากับผลรวมของผลตอบจากสัญญาณเข้าแต่ละสัญญาณ

ระบบไม่แปรผันตามเวลา หมายถึง ระบบที่ผลตอบสนองจากการประวิงเวลาของสัญญาณเข้า มีค่าเท่ากับการประวิงเวลาของสัญญาณออก จากการกระตุ้นโดยสัญญาณเข้าเดิมที่ไม่มีการประวิงเวลา ระบบเชิงเส้นและไม่แปรผันตามเวลา เป็นระบบเชิงเส้นที่อธิบายพฤติกรรมด้วยสมการอนุพันธ์สามัญเชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่

ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น หมายถึง ระบบที่กฎการทับซ้อน (superposition) ไม่สามารถใช้ได้ นั่นคือ ผลตอบจากสัญญาณเข้าหลายๆ สัญญาณมีค่าไม่เท่ากับผลรวมของผลตอบจากสัญญาณเข้าแต่ละสัญญาณ ตัวอย่างระบบที่ไม่

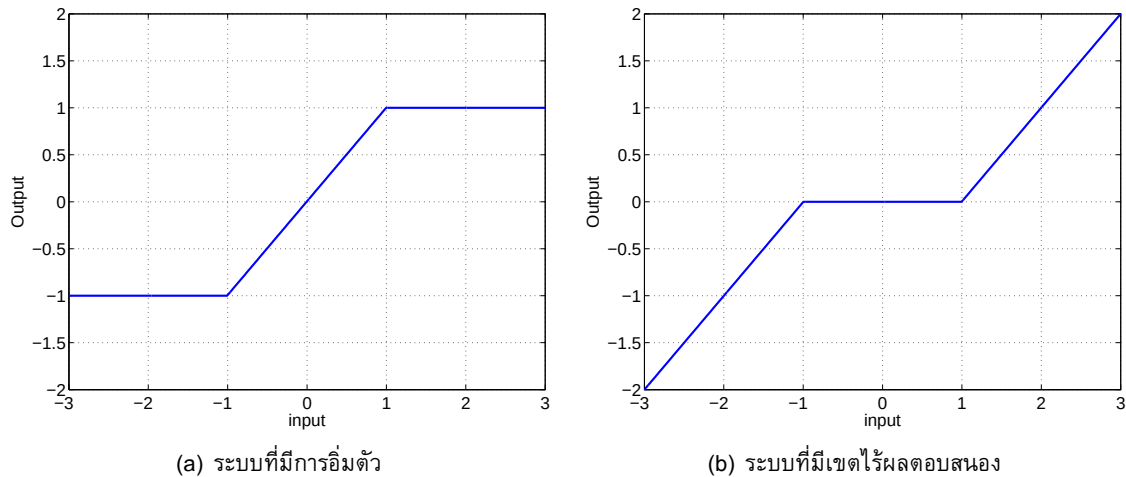


Figure 1: ตัวอย่างลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้น

เป็นเชิงเส้น เช่น

$$\begin{aligned}\ddot{x}(t) + \dot{x}(t)^2 + x(t) &= A \sin(\omega t) \\ \ddot{x}(t) + (x(t)^2 - 1)\dot{x}(t) + x(t) &= u_1(t) \\ \ddot{x}(t) + \dot{x}(t) + x(t) + x(t)^3 &= u_2(t)\end{aligned}$$

ระบบพลวัตบางระบบอาจประมาณให้เป็นเชิงเส้นที่จุดทำงานหนึ่ง แต่หากสัญญาณที่เข้าระบบมีขนาดใหญ่เกินไป สัญญาณออกที่ได้อาจเกิดการอิ่มตัว (saturation) ดังรูปที่ 1(a) หรือระบบอาจจะมีเขตไร้ผลตอบสนอง (deadzone) เกิดขึ้น นั่นคือ ไม่มีสัญญาณออกหากสัญญาณเข้ามีขนาดเล็กเกินไปดังรูปที่ 1(b)

โดยทั่วไป แบบจำลองของระบบพลวัต สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ ดังนั้นการจำลองในโดเมนเวลา คือการหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ที่ใช้แสดงแบบจำลองของระบบนั่นเอง การจำลองระบบพลวัตทำได้ 2 แบบคือ

1. แอนะล็อกคอมพิวเตอร์ (analog computer)

การจำลองโดยใช้แอนะล็อกคอมพิวเตอร์ ทำได้โดยต่อวงจรทางไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะสมบัติเหมือน(หรือคล้าย)กับระบบที่ต้องการจำลอง สัญญาณออกของวงจรคือ ผลตอบสนองของระบบที่ทำการจำลองนั่นเอง องค์ประกอบหลักของแอนะล็อกคอมพิวเตอร์ที่ใช้ได้แก่ ตัวอินทิเกรต (integrator) ตัวขยาย (gain) และตัวรวมสัญญาณ (summer) นอกจากนี้อาจมีองค์ประกอบอื่นอีกเช่น ตัวจำกัดค่า (limiter) และรีเลย์ (relay) เป็นต้น ซึ่งใช้ในการจำลองระบบไม่เชิงเส้น ข้อดีของการจำลองด้วยแอนะล็อกคอมพิวเตอร์คือ สามารถให้ผลตอบออกมาได้ทันที ซึ่งทำให้เหมาะกับการประยุกต์บางประเภท ทั้งยังสะดวกและรวดเร็วถ้าทำงานที่ไม่ซับซ้อนมาก ส่วนข้อเสียคือ ถ้าต้องการผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงจะทำได้ยากและราคาของอุปกรณ์ที่ใช้จะมีราคาสูงมาก นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับค่าจำกัดของค่าแรงดันเกินพิกัดซึ่งอาจจะต้องทำการย่อขนาดของสัญญาณ (scaling) เพื่อให้วงจรที่ต่อทำงานได้ในช่วงที่ให้ผลลัพธ์ถูกต้อง

2. ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ (digital computer)

การจำลองโดยใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ทำได้โดยการคำนวณหาคำตอบของสมการอนุพันธ์ที่แสดงแบบจำลองของระบบด้วยระเบียบวิธีทางเชิงเลข (numerical method) ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง เหมาะกับการจำลองระบบที่ซับซ้อน ไม่มีปัญหาเรื่องการย่อขนาดของสัญญาณ (scaling) และในปัจจุบันดิจิตอลคอมพิวเตอร์มีใช้แพร่หลาย แต่ข้อเสียคือผู้ใช้ควรมีความรู้ทางระเบียบวิธีเชิงเลข (เมื่อจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์เอง) หรือบางครั้งไม่สามารถให้ผลลัพธ์ได้ในเวลาจริง (real time) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วในการคำนวณของคอมพิวเตอร์

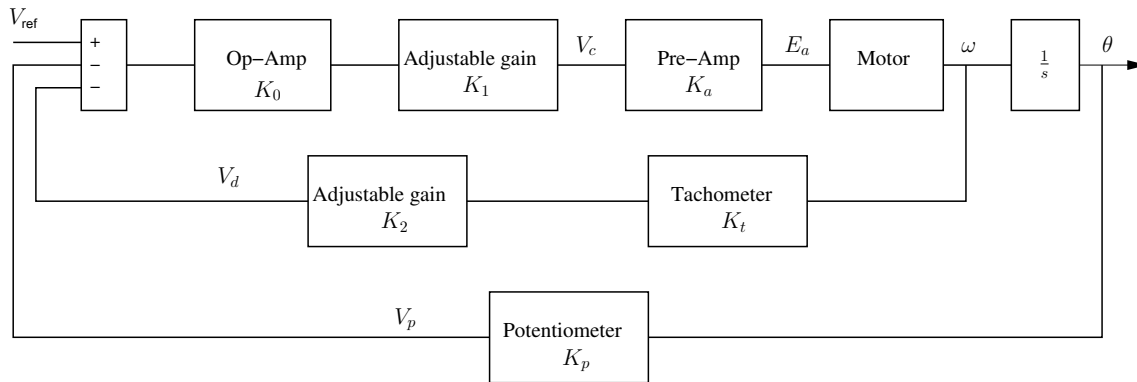


Figure 2: แผนภาพกรอบของชุดการทดลองมอเตอร์

สำหรับการทดลองนี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับคำนวณ ได้แก่ โปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งมีเครื่องมือช่วยแสดงผลที่ง่ายและชัดเจน ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับโปรแกรมได้สะดวก และยืดหยุ่น การจำลองระบบด้วย MATLAB/Simulink ช่วยลดภาระของการพัฒนาโปรแกรมลงอย่างมาก โดยเฉพาะในเรื่องการเรียนรู้ระเบียบวิธีเชิงเลข และเขียนโปรแกรมเพื่อทำการคำนวณ (เช่น การหาคำตอบของสมการอนุพันธ์) ทำให้เราสามารถมุ่งความสนใจในเรื่องการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมได้เต็มที่ นอกจากนี้ MATLAB/Simulink ยังมีส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (user interface) ที่ใช้งานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

ในทางปฏิบัติการวิเคราะห์และสังเคราะห์ระบบควบคุมจะประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ คือ

1. ทดลองและเก็บข้อมูลจากระบบจริงเพื่อหาคุณลักษณะและพารามิเตอร์ของระบบ
2. นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์
3. จำลองผลตอบสนองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองว่าใกล้เคียงกับระบบจริงเพียงใด
4. ออกแบบตัวควบคุม และปรับแต่งจนกระทั่งระบบมีสมรรถนะตามต้องการ
5. นำตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบไปควบคุมระบบจริง

ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานระบบควบคุมมีอุปกรณ์หลัก ได้แก่ ชุดการทดลองมอเตอร์ และชุดการทดลองกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นการปฏิบัติครั้งนี้จะเน้นการจำลองระบบทั้งสองด้วยคอมพิวเตอร์ แล้ววิเคราะห์พฤติกรรมของระบบ สำหรับนำไปใช้ออกแบบตัวควบคุมต่อไป ชุดการทดลองทั้งสองมีแบบจำลองอย่างง่ายดังนี้

2 ชุดการทดลองมอเตอร์

จากแผนภาพกรอบดังรูปที่ 2 แบบจำลองของการควบคุมมอเตอร์นี้มีสัญญาณเข้าเป็นแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) และมีสัญญาณออกเป็นตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์ (θ) เป้าหมายของการควบคุมระบบนี้ คือ การทำให้ให้แกนโรเตอร์หมุนไปตรงตำแหน่งที่ต้องการ นั่นคือ การตามรอยสัญญาณอ้างอิง (reference tracking) ระบบนี้ใช้การควบคุมแบบมีการป้อนกลับตำแหน่ง และ/หรือการป้อนกลับความเร็ว ชุดการทดลองประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ และหน้าที่ของอุปกรณ์เป็นดังต่อไปนี้

1. มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่เราต้องการควบคุม โดยให้โรเตอร์ของมอเตอร์หมุนไปหยุดในตำแหน่งที่ต้องการ ฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์จากแรงดันอาร์เมเจอร์ $E_a(s)$ ถึงความเร็วเชิงมุม $\omega(s)$ เป็นดังนี้

$$G(s) = \frac{2.426}{0.0075s^2 + 0.083325s + 0.907463}$$

2. แทคโคมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เป็นแรงดันป้อนกลับความเร็ว ฟังก์ชันถ่ายโอนของแทคโคมิเตอร์เป็นอัตราขยายค่าคงที่เท่ากับ 0.1047 V/rpm หรือ 0.9998 V/rad/sec
3. โฟเทนซิโอมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์เป็นแรงดันป้อนกลับตำแหน่ง ฟังก์ชันถ่ายโอนของโฟเทนซิโอมิเตอร์เป็นอัตราขยายค่าคงที่เท่ากับ 2.3873 V/rad
4. ออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงกับแรงดันป้อนกลับ ถ้าแรงดันป้อนกลับมีค่าไม่เท่ากับแรงดันอ้างอิง แรงดันคลาดเคลื่อนจะมีค่าไม่เป็นศูนย์เพื่อเป็นแรงดันขับเคลื่อนต่อไป ออปแอมป์มีอัตราขยายค่าคงที่เท่ากับ 1
5. อัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 (K_1) รับสัญญาณแรงดันจากออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแบ่งแรงดัน มีลักษณะเป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ สามารถเลือกอัตราขยายตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือ 0-100
6. อัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 (K_2) รับสัญญาณแรงดันจากแทคโคมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแบ่งแรงดัน มีลักษณะเป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ สามารถเลือกอัตราขยายตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือ 0-100%
7. ฟรีแอมป์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณควบคุม ตัวฟรีแอมป์มีขั้วสัญญาณออกอยู่ 2 ขั้ว เพื่อแยกสัญญาณที่เป็นบวกและลบออกจากกัน เมื่อมีสัญญาณเข้าเป็นบวก จะได้สัญญาณขยายมีค่าบวกที่ขั้วหนึ่ง ขณะที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็นลบจะได้สัญญาณขยายออกมีค่าบวกที่อีกขั้วหนึ่ง ฟรีแอมป์จึงทำหน้าที่ปรับสัญญาณเข้าสู่มอเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนได้ 2 ทิศทาง ดังในรูปที่ 3

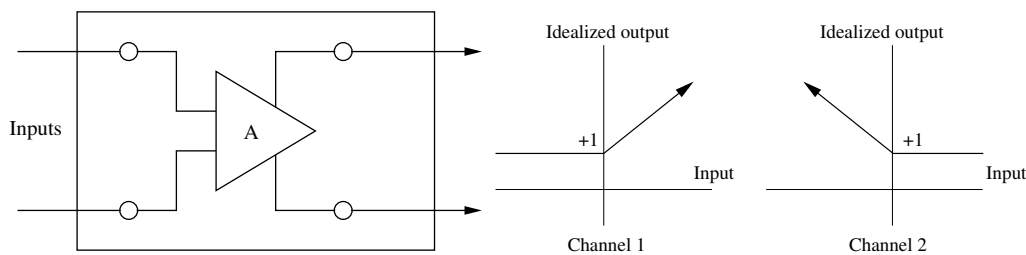


Figure 3: ลักษณะของฟรีแอมป์

นอกจากนี้ ตัวฟรีแอมป์มีลักษณะการอิ่มตัว เนื่องจากแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ มีขนาดจำกัด ทั้งนี้อาจมองว่าการอิ่มตัวเป็นประโยชน์ป้องกันไม่ให้แรงดันที่เข้ามอเตอร์มากเกินไป นั่นคือแรงดันอิ่มตัวเท่ากับ +13 หรือ -13 โวลต์ เราสามารถเขียนสัญญาณออกแต่ละช่องให้เป็นฟังก์ชันของแรงดันจากตัวควบคุม ได้ดังนี้

$$\text{ช่องที่ 1 } E_a = \begin{cases} 13, & V_c > 0.6 \\ 1 + 20V_c, & 0 \leq V_c \leq 0.6 \\ 1, & V_c < 0 \end{cases} \quad \text{ช่องที่ 2 } E_a = \begin{cases} -13, & V_c < -0.6 \\ -1 + 20V_c, & -0.6 \leq V_c \leq 0 \\ -1, & V_c > 0 \end{cases}$$

ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถจัดในรูปแบบง่ายเพื่อประโยชน์ในการเขียนภาพกรอบ Simulink ดังนี้

$$E_a = \begin{cases} 13, & V_c > 0.6 \\ 1 + 20V_c, & 0 \leq V_c \leq 0.6 \\ -1 + 20V_c, & -0.6 \leq V_c \leq 0 \\ -13, & V_c < -0.6 \end{cases}$$

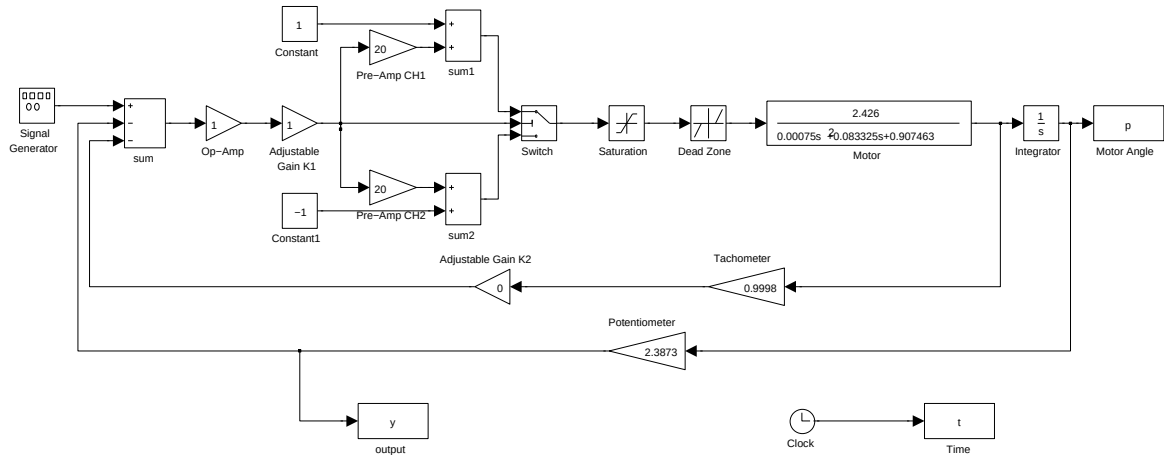


Figure 4: แผนภาพกรอบ Simulink ของชุดการทดลองมอเตอร์

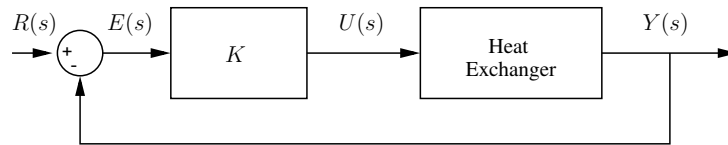


Figure 5: แผนภาพกรอบของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ระบบการควบคุมมอเตอร์มีลักษณะสำคัญ คือ มีเซตไวลต์ตอบสนอง ในส่วนการเคลื่อนที่เชิงมุมของตัวมอเตอร์ ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานสถิตย์ ดังนั้นแรงดัน E_a ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ต้องมีค่าเพียงพอในระดับหนึ่ง เพื่อให้แรงบิดของมอเตอร์เอาชนะแรงเสียดทานสถิตย์ได้ แล้วมอเตอร์จึงจะเริ่มหมุน แรงดันที่ทำให้มอเตอร์เอาชนะแรงเสียดทานของมอเตอร์คือ 1.5 โวลต์ ดังนั้นเซตไวลต์ตอบสนองอยู่ในช่วง -1.5 ถึง 1.5 โวลต์

แผนภาพกรอบ Simulink ของชุดควบคุมมอเตอร์ที่มีส่วนประกอบที่ไม่เชิงเส้นพร้อมพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4

อนึ่ง แบบจำลองเชิงเส้นของระบบควบคุมมอเตอร์ เป็นแบบจำลองที่ทำให้เป็นเชิงเส้น นั่นคือละเลยเซตไวลต์ตอบสนองของมอเตอร์ และการอิ่มตัวของพรีแอมป์ อีกทั้งให้ประมาณพรีแอมป์ให้เป็นอัตราขยายมีค่าเท่ากับ 20

3 กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

แบบจำลองของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแสดงได้ดังรูป 5 โดยมีสัญญาณเข้า $R(s)$ เป็นแรงดันอ้างอิงที่ได้จากการแปลงค่ากำหนด (set point) ของอุณหภูมิที่ต้องการ ส่วนสัญญาณออก $Y(s)$ เป็นแรงดันที่แปลงมาจากอุณหภูมิที่วัดได้ T_o การควบคุมมีเป้าหมายเพื่อปรับอุณหภูมิ T_o ให้เป็นตามค่ากำหนด และใช้วิธีควบคุมแบบป้อนกลับ สัญญาณแรงดัน

ชุดการทดลองประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ และหน้าที่เป็นดังต่อไปนี้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิ T_o ตามค่ากำหนด มีส่วนประกอบย่อยตามรูปที่ 6 ดังนี้
 - (a) บLOWER (Blower) เป็นอุปกรณ์มีหน้าที่หมุนเวียนอากาศภายในท่อ
 - (b) ชัตเตอร์ (Shutter) เป็นอุปกรณ์มีหน้าที่ควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
 - (c) เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) เป็นตัวตรวจวัดที่แปลงอุณหภูมิ T_o เป็นแรงดันโดยมีวงจรวัดสโตนบริดจ์ และ วงจรขยายสัญญาณเป็นอุปกรณ์ช่วย

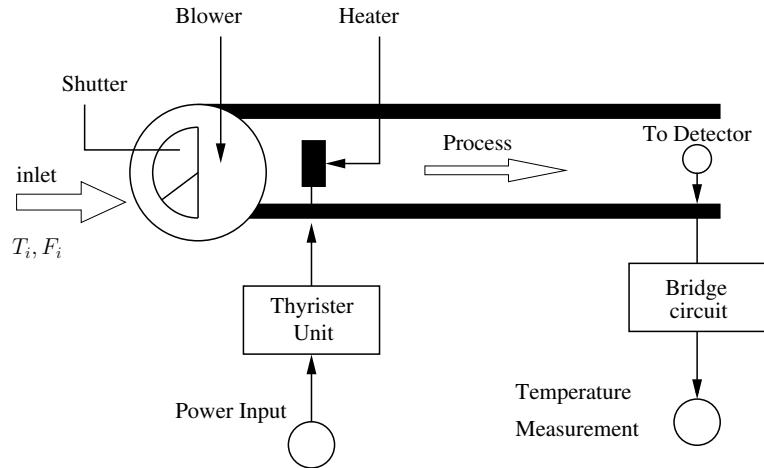


Figure 6: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

- (d) ไทริสเตอร์ (Thyristor) เป็นอุปกรณ์ที่แปลงแรงดันควบคุมเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังให้ขดลวดทำความร้อน (Heater)
 - (e) ขดลวดทำความร้อน เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ผ่านเข้ามาในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. วงจรรขยายสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงกับแรงดันป้อนกลับ ถ้าแรงดันป้อนกลับมีค่าไม่เท่ากับแรงดันอ้างอิง วงจรรขยายสัญญาณจะสร้างแรงดันคลาดเคลื่อนที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ เพื่อไปควบคุมกระบวนการต่อไป
 3. Proportional Band เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้างแรงดันควบคุม โดยรับสัญญาณจากแรงดันคลาดเคลื่อน สามารถปรับค่า %PB ได้ตั้งแต่ 5 ถึง 200% ทั้งนี้อาจมองอุปกรณ์นี้ ในรูปของวงจรรขยายสัญญาณปรับค่าได้ นั่นคือ อัตราขยายมีค่าเท่ากับ $\frac{100\%}{\%PB}$

กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนมีลักษณะสำคัญ คือ การหน่วงเวลา (transportation lag) นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะปรากฏที่ปลายท่อหลังจากเวลาช่วงหนึ่ง เทียบกับเวลาที่เริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดทำความร้อน การหน่วงเวลา เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศ ผ่านชุดเตอร์ที่ตันท่อไปยังเทอร์มิสเตอร์ที่อยู่ปลายท่อ กำหนดให้เวลาหน่วงเป็น τ วินาที โดยที่ $\tau = \text{ปริมาตรของท่อ} / \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตร}$ เวลาหน่วงนี้ส่งผลให้การควบคุมทำได้ยากขึ้น ในชุดการทดลองนี้ $\tau = 0.15$ วินาที ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ นั่นคือ $Y(s)/U(s)$ มีค่าเป็น

$$G(s) = \frac{0.67e^{-0.15s}}{0.46s + 1}$$

4 สิ่งที่ต้องเตรียมมา

(ส่งก่อนการทดลองอย่างน้อย 1 วันภายในเวลา 12.00 น.)

1. สร้างแผนภาพกรอบ Simulink ของชุดการทดลองมอเตอร์ ตามแบบจำลองรูปที่ 4 และประมาณระบบให้เป็นเชิงเส้น นั่นคือละเลยเขตไร้ผลตอบสนองของมอเตอร์ และการอิ่มตัวของฟรีแอมป์ ให้ประมาณฟรีแอมป์เป็นอัตราขยายมีค่าเท่ากับ 20 เมื่อยังไม่มีป้อนกลับทั้งสัญญาณตำแหน่งและความเร็วเชิงมุม ให้เขียนฟังก์ชันโอนย้ายวงเปิดจากแรงดันอ้างอิง ไปยังตำแหน่งเชิงมุม และระบุขั้ว (poles) ของฟังก์ชันโอนย้าย

- เมื่อมีการป้อนกลับเพียงสัญญาณตำแหน่ง กำหนดให้ค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 100% และให้อัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 0% จากนั้นใส่สัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz จำลองผลตอบสนองทางเวลาของสัญญาณตำแหน่ง และสัญญาณควบคุม บันทึกผลสัญญาณทั้งสอง นอกจากนี้ให้หาทางเดินราก (root loci) ของระบบควบคุมวงปิดเมื่อแปรค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 จาก 0 ถึง ∞ พร้อมทั้งระบุตำแหน่งของขั้วระบบวงปิดเมื่ออัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ 100%

เขียนชื่อนิสิต ระบุกลุ่มและตอนอย่างชัดเจน ให้บันทึกรูปภาพผลตอบจากการใช้คำสั่ง plot ในโปรแกรม MATLAB ระบุชื่อภาพ พร้อมทั้งแกนนอนและแกนตั้ง

5 วิธีทดลอง

การทดลอง 1 การจำลองระบบของชุดการควบคุมมอเตอร์

- ใช้ MATLAB/Simulink จำลองระบบของชุดการควบคุมมอเตอร์ตามรูปที่ 4
- ตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 100% และอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 0% จากนั้นใส่สัญญาณเข้าให้เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz แสดงผลตอบทางเวลาของระบบโดยใช้เวลาในการจำลอง (simulation time) 10 วินาทีโดยตั้งพารามิเตอร์ในการจำลองให้ Max step size และ Initial step size เป็น auto ให้ Relative Tolerance เป็น $1e-3$ และให้ Absolute Tolerance เป็น auto
- ทำการทดลองข้อ 2. ซ้ำ โดยให้ Max step size และ Initial step size เป็น 0.1, Relative Tolerance เป็น 1 และให้ Absolute Tolerance เป็น auto
- ทำการทดลองข้อ 2. ซ้ำ โดยให้ Max step size และ Initial step size เป็น $1e-4$, Relative Tolerance เป็น $1e-4$ และให้ Absolute Tolerance เป็น auto
- วิจารณ์ผลตอบที่ได้เมื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ

การทดลอง 2 การป้อนกลับแบบ P ของชุดการควบคุมมอเตอร์

- ประมาณระบบให้เป็นเชิงเส้นโดยละเลย deadzone ของมอเตอร์และการอิ่มตัวของฟริแอมพ์ นั่นคือประมาณฟริแอมพ์เป็นเพียงอัตราขยายมีค่าเท่ากับ 20 ตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 20% กำหนดให้อัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 0% จากนั้นใส่สัญญาณเข้าให้เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz แสดงผลตอบทางเวลาของระบบ
- ทำการทดลองข้อ 1 ซ้ำที่ค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 50% และ 100%
- แสดงทางเดินของรากของระบบเมื่อแปรค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 จาก 0 ถึง ∞ พร้อมทั้งหาดำแหน่งของขั้วระบบวงปิดเมื่อตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 20%, 50% และ 100%
- วิจารณ์พฤติกรรมของระบบที่ทำการประมาณให้เป็นเชิงเส้น เมื่อมีการเปลี่ยนค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 และอธิบายผลทางกายภาพของระบบจริง

การทดลอง 3 การป้อนกลับแบบ PD ของชุดการควบคุมมอเตอร์

- ประมาณระบบให้เป็นเชิงเส้น ตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 100% และอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 10% จากนั้นใส่สัญญาณเข้าให้เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz แสดงผลตอบทางเวลาของระบบ

2. ทำการทดลองข้อ 1 ซ้ำที่ค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 20% และ 50%
3. แสดงทางเดินของรากของระบบเมื่อแปรค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 จาก 0 ถึง ∞ พร้อมทั้งหาดำแหน่งของขั้วระบบวงปิดเมื่อตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 10%, 20% และ 50%
4. วิเคราะห์พฤติกรรมของระบบที่ทำการประมาณให้เป็นเชิงเส้นเมื่อมีการเปลี่ยนค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 และอธิบายผลทางกายภาพของระบบจริง

การทดลอง 4 ผลขององค์ประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่มีต่อระบบ

1. ใช้ MATLAB/Simulink จำลองระบบของชุดการควบคุมมอเตอร์ตามรูปที่ 4
2. ตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 100% และอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 10% จากนั้นใส่สัญญาณเข้าให้เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz แสดงผลตอบทางเวลาของระบบ
3. ประมาณระบบให้เป็นเชิงเส้น ตั้งค่าอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 1 เป็น 100% และอัตราขยายปรับค่าได้ตัวที่ 2 เป็น 10% จากนั้นใส่สัญญาณเข้าให้เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz แสดงผลตอบทางเวลาของระบบ
4. เปรียบเทียบผลตอบทางเวลาของระบบจริง และระบบที่ประมาณด้วยเชิงเส้น (แสดงผลตอบสนองทางเวลาของสัญญาณตำแหน่ง และสัญญาณควบคุม)

การทดลอง 5 การจำลองระบบของชุดกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน และวิเคราะห์ผลตอบของระบบในโดเมนเวลาและความถี่

1. ใช้ MATLAB/Simulink จำลองระบบของชุดกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามรูป 5
2. ตั้งค่า %PB ไว้ที่ 200% จากนั้นใส่สัญญาณเข้าให้เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $2 V_{p-p}$ และมีความถี่ 0.1 Hz แสดงผลตอบทางเวลาของระบบ
3. ทำการทดลองข้อ 1 ซ้ำที่ค่า %PB เป็น 100% และ 50%
4. แสดงแผนภาพโบเดของระบบวงเปิดที่ค่า %PB เป็น 200%, 100% และ 50%
5. วิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนค่า %PB และอธิบายผลทางกายภาพของระบบจริง