

รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2538

เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



เรื่อง

คอมพิวเตอร์สำหรับจำลองแบบกระบวนการทางอุตสาหกรรม
Computerized Industrial Simulator

RCH

TS

156.8

๑๒๙๙

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 32251
วัน, เดือน, ปี..... 11 ส.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2538

เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เรื่อง

คอมพิวเตอร์สำหรับจำลองแบบกระบวนการทางอุตสาหกรรม

Computerized Industrial Simulator

นายวิริยะ กงรัตน์ หัวหน้าโครงการวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

สมการคุณลักษณะของกระบวนการเป็นตัวที่จะบ่งบอกถึงสมรรถนะของกระบวนการ ถูกใช้เพื่อการออกแบบลักษณะทางกายภาพ และหาผลตอบสนองของกระบวนการ ตลอดจนออกแบบอุปกรณ์ชดเชยต่างๆ ในวงรอบ เพื่อให้เกิดความเป็นเสถียรภาพในการควบคุม

การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ เป็นสิ่งจำเป็นก่อนที่จะมีการสร้างกระบวนการจริง ทำให้ได้รู้ถึงพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลง หรือผลกระทบจากตัวแปรที่กำลังควบคุม และตัวแปรรบกวนต่างๆ ของกระบวนการได้ สำหรับรายงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ และวงรอบการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ และใช้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงจากภายนอกผ่านอุปกรณ์เชื่อมสัญญาณ และเปรียบเทียบกับหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์และวงรอบโดยใช้โปรแกรม MATLAB

Abstract

The Characteristics equation is the key to indicate the process ability. It is applicable for physical structure and compensation device is designed in control loop and for the control stability. The analysis of process characteristic are necessary before going to real process because it can provide the indication of variation behavior, the effect form the parameter has been controlling even the distrubance

This research present the mathematic model of the process and control loop also done by computer. Which can be test the performance by external signal through the interfacing devices and making a compare between the mathematic model instruction and control loop by using MATLAB program.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19



ดำเนินการจัดประชุมโดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7-8 พฤศจิกายน 2539

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองกระบวนการ

The Computer application for Process Simulator

ผศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร*

วิริยะ กองรัตน์*

ยุทธพงศ์ ทัพพคุณ**

บทคัดย่อ

สมการคุณลักษณะของกระบวนการเป็นตัวที่จะบ่งบอกถึงสมรรถนะของกระบวนการ ถูกใช้เพื่อการออกแบบลักษณะทางกายภาพ และหาผลตอบสนองของ กระบวนการ ตลอดจนออกแบบอุปกรณ์ชดเชยต่างๆ ในวงรอบ เพื่อให้เกิดความเป็นเสถียรภาพในการควบคุม

การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ เป็นสิ่งที่จำเป็น ก่อนที่จะมีการสร้างกระบวนการจริง ทำให้ได้รู้ถึงพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงหรือผลกระทบจากตัวแปรที่กำลังควบคุม และตัวแปรรบกวนต่างๆ ของกระบวนการได้ สำหรับบทความนี้ได้นำเสนอ การสร้างหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ และวงรอบ การควบคุม โดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยใช้สัญญาณการเปลี่ยนแปลง จากภายนอกผ่านอุปกรณ์เชื่อมสัญญาณ และทำการเปรียบเทียบกับ การสร้างหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ และวงรอบควบคุมโดยใช้โปรแกรม MATLAB.

Abstract

The characteristic equation is the key to indicate the process's ability. It is applicable for physical structure's and compensatory device's designing in the controlling loop and for the occurrence of control's stability.

The analysis of process's characteristics are necessary before going to the real process because it can provide the indications of the behaviors' variation, the effects from the parameter that has been controlling and even the disturbing parameter in the process.

This paper, the mathematical model of the process and its controlling loop by computerize procedure are presented. The focused point is that such process can be tested for the performance by sending external signal through the interfacing devices and making a comparison between the mathematical model's instruction and controlling loop by applying the MATLAB program.

1. บทนำ

กระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ถูกออกแบบจะต้องผ่านการวิเคราะห์ที่ตัวแปรต่างๆ ตลอดจนผลตอบสนองในทางพลศาสตร์ ก่อนที่จะทำการสร้างเป็นกระบวนการจริง การวิเคราะห์สามารถทำได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่เป็นทั้งแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล โดยเริ่มจากการสร้างหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) ของอุปกรณ์แต่ละตัวในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ที่ประกอบกันมาเป็นวงรอบการควบคุม และการนำมาหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา (Time Domain Response) ของวงรอบหรือกระบวนการในลักษณะการประเมินผลเชิงตัวเลข (Numerical Computation) ดังนั้นเราต้องทราบถึงความสัมพันธ์ พื้นฐานของ อุปกรณ์ต่างๆ ในวงรอบ ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนเสียก่อน สำหรับบทความนี้ได้ทำการทดลองสร้างหุ่นจำลองของกระบวนการ เช่น ค่าเวลาคงตัว (Time Constant) อัตรขยาย (Gain) สามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อความเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของกระบวนการ เพื่อให้สามารถที่จะทำการทดสอบหรือวัดผลการตอบสนองได้ โดยใช้สัญญาณจริงจากภายนอกผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมสัญญาณ (A/D & D/A Interface Card) และสามารถที่จะใช้เครื่องควบคุมอุตสาหกรรมมาทำการควบคุมกระบวนการจำลองนี้ได้

นอกจากนี้ยังสามารถทำการจำลองการทำงานของ เครื่องควบคุมแบบ PID โดยนำฟังก์ชันถ่ายโอน ของเครื่อง ควบคุมแบบ PID มาทำการประมวลผลเชิงตัวเลขร่วมกับกระบวนการและ อุปกรณ์ร่วมในวงรอบดังกล่าว โดยสามารถที่จะปรับแต่งพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมได้อย่างเหมือนจริง

2. การสร้างหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ

จากวงรอบการควบคุมของถังปฏิกริยา (Reactor) ในรูปที่ 1 ระบบควบคุมอุณหภูมิของถังกวนให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง ถูกให้ความร้อนแก่กระบวนการโดยใช้น้ำที่ควบแน่นบนคอยล์ เครื่องควบคุมที่ใช้เป็นแบบ PID ถูกใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในถัง โดยจัดการกับตำแหน่งของวาล์วให้น้ำที่เหมาะสม ในที่นี้ต้องการที่จะหาล็อกโคอะแกรมที่สมดุลและเหมาะสมกับลักษณะ ของวงรอบจากข้อมูลสำหรับการออกแบบดังต่อไปนี้

กระบวนการ

- วัตถุดิบมีความหนาแน่น ρ เป็น 68.0 lb/ft^3

- ความจุความร้อน C_p เป็น $0.80 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$

- ปริมาตร V ของเหลวในถังคงที่ 120 ft^3 ภาชนะที่มีการนำไปใช้

คอยล์ประกอบด้วย

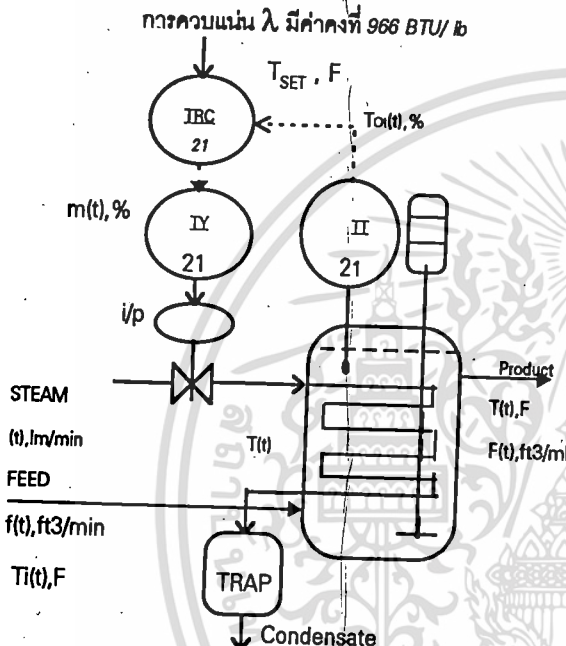
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยในโครงการวิจัยที่สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

*อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจธ.

**นักศึกษานิเทศศาสตร์ สจธ.

- ความยาว 205 ft 4 inch
- ท่อเหล็กน้ำหนัก 10.8 lb/ft
- ความจุความร้อน 0.12 BTU/lb °F
- เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 4.500 inch
- สมบัติการส่งผ่านความร้อนทั้งหมดขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวด้าน

นอกของคอยล์โดยประมาณ 2.1 BTU/min ft² °F
 ใช้น้ำที่มีค่าอิมพัลส์ที่ความดัน 30 psia กำหนดให้มีความร้อนแฝงของ



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

สภาวะในการออกแบบ

- อัตราการไหลของวัตต์ดูคิบ f 15 ft³/min
- อุณหภูมิทางเข้า T_1 เป็น 100 °F
- อุณหภูมิ T ถูกรักษาไว้ที่ 150 °F และเป็นไปได้ที่การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของวัตต์ดูคิบและอุณหภูมิที่ทางเข้าของวัตต์ดูคิบจะเป็นตัวแปรบกวรของระบบ

อุปกรณ์วัด-อุปกรณ์ส่งสัญญาณของอุณหภูมิ

- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิมีพิทัด 100-200 องศา F ค่าเวลาคงตัว τ_1 เป็น 0.75 min

วาล์วควบคุม

- วาล์วควบคุมได้ออกแบบสำหรับ 100 % ที่เกินความสามารถ (Over Capacity)
- วาล์วที่ใช้เป็นแบบอีควอลเปเปอร์เซนต์ ด้วยพารามิเตอร์ของความเป็นพิทัด α เป็น 50
- อุปกรณ์รับวาล์วมีค่าเวลาคงตัว τ_2 เป็น 0.2 min

วิธีที่จะต้องดำเนินการทางสมการความแตกต่าง ใช้เพื่อที่จะอธิบายพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของวาล์วควบคุม อุปกรณ์วัด

ส่งสัญญาณ และเครื่องควบคุม จากนั้นจะปรับเป็นเชิงเส้น แปลงลาปลาซเพื่อที่จะหาล็อกโคโอะแกรมของวงรอบต่อไป

สำหรับกระบวนการ

กำหนดให้ความร้อนสูญเสียน้อยมาก ปริมาตรและคุณสมบัติทางกายภาพ นั้นยังคงที่ สมดุลย์ทางพลังงานของของเหลวในถังเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = f(t)\rho C_p T_1(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - f(t)\rho C_p T(t)$$

เมื่อ

A เป็นพื้นที่ในการส่งผ่านความร้อน, ft²

$T_s(t)$ เป็นอุณหภูมิของไอน้ำที่ควบแน่น °F

สัญลักษณ์อื่นได้ถูกกำหนดในลักษณะของปัญหาสำหรับของเหลวที่อยู่

ที่อุณหภูมิ C_p ในเทอมของการสะสมได้ปริมาณให้มีค่าเท่ากับ C_p

กำหนดให้โลหะของคอยล์เป็นอุณหภูมิเดียวกัน ในขณะที่ควบแน่น

สมดุลย์ทางพลังงานที่คอยล์จะได้ ดังนี้

$$C_M \frac{dT_s(t)}{dt} = w(t)\lambda + UA[T_s(t) - T(t)]$$

เมื่อ

$W(t)$ เป็นอัตราการไหลของไอน้ำ, lb/min

C_M เป็นความจุความร้อนของโลหะคอยล์, BTU/°F

อัตราการไหลของไอน้ำคือทางออกของวาล์วควบคุม และเป็นทาง

เข้าของกระบวนการ สำหรับกระบวนการก็ได้ถูกสร้างเป็นหุ่นจำลอง

โดยสมบูร์นแล้ว

สำหรับวาล์วควบคุม

สมการของวาล์วแบบอีควอลเปเปอร์เซนต์ด้วยแรงดันทางด้านสูงที่

คงที่และแรงดันตกที่คงที่ที่สามารถที่จะเขียนได้ดังนี้

$$w(t) = W_{max} \alpha^{vp(t) - 1}$$

เมื่อ

W_{max} เป็นอัตราการไหลสูงสุดที่ผ่านวาล์ว, lb/min

α เป็นพารามิเตอร์ของความเป็นพิทัดของวาล์วแบบควอลเปเปอร์เซนต์เทจ

$vp(t)$ ตำแหน่งของวาล์วในสเกล 0 - 1

การแปรค่าของแรงดันที่ตกคร่อมวาล์วกับอุณหภูมิของไอน้ำที่ควบ

แน่น (และความดัน) ได้ถูกตัดทิ้งไปในตัวอย่างแบบง่ายนี้ ส่วน

อุปกรณ์รับวาล์วสามารถที่จะสร้างเป็นหุ่นจำลอง โดยแทนด้วย

ระบบอันดับที่หนึ่ง

$$VP(s) = \frac{1/100}{\tau_v s + 1} M(s)$$

เมื่อ $M(s)$ เป็นสัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมเป็นเปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อุปกรณ์วัด - ส่งสัญญาณ สามารถที่จะแสดงโดยระบบอันดับที่หนึ่ง

$$\frac{T(s)}{T_i(s)} = \frac{Kt}{\tau_c s + 1}$$

$T_o(s)$ เป็นการแปลงลาปลาซของสัญญาณทางออกของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ, %

เครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ (TRC21)

ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบ PID

$$G_c(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right] = \frac{M(s)}{R(s) - T_o(s)}$$

เมื่อ K_c เป็นอัตราขยายของเครื่องควบคุม, τ_I เป็นเวลาอินทิเกรต, τ_D เป็นเวลาอนุพันธ์

สมการสำหรับวงรอบการควบคุมอุณหภูมินั้น เสริจสมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการปรับเป็นเชิงเส้นของสมการที่ได้จำลองแบบและแปลงลาปลาซเพื่อหาค่าบล็อกไดอะแกรมของวงรอบ

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = \bar{f}\rho C_p T_i(t) + \rho C_p (T_i + T)F(t) + UAT_s(t) - (UA + \bar{f}\rho C_p)T(t)$$

$$C_M \frac{dT_s(t)}{dt} = \lambda W(t) - UAT_s(t) + UAT(t)$$

เมื่อ $T(t)$, $T_s(t)$, $F(t)$, $T_i(t)$, $W(t)$ เป็นตัวแปรเบี่ยงเบน จากนั้นแปลงลาปลาซและจัดรูปใหม่จะได้

$$T(s) = \frac{K_F}{\tau_c s + 1} F(s) + \frac{K_I}{\tau_c s + 1} T_i(s) + \frac{K_S}{\tau_c s + 1} T_s(s)$$

$$T_s(s) = \frac{1}{\tau_c s + 1} T(s) + \frac{K_W}{\tau_c s + 1} W(s)$$

เมื่อ

$$\tau = \frac{V\rho C_p}{UA + \bar{f}\rho C_p}$$

$$\tau_c = \frac{C_M}{UA}$$

$$K_F = \frac{\rho C_p (T_i - T)}{UA + \bar{f}\rho C_p}$$

$$K_I = \frac{\bar{f}\rho C_p}{UA + \bar{f}\rho C_p}$$

$$K_S = \frac{UA}{UA + \bar{f}\rho C_p}$$

$$K_W = \frac{\lambda}{UA}$$

ผลของการปรับเป็นสมการเชิงเส้นที่สมการของวงลวด คือ

$$W(t) = W_{max} (\ln \alpha) \alpha^{-\tau t - 1} (t) = \bar{W} (\ln \alpha) VP(s)$$

เมื่อ $VP(t)$ เป็นตัวแปรเบี่ยงเบนของตำแหน่งวาล์ว แปลงลาปลาซ

จะได้

$$W(s) = \bar{W} (\ln \alpha) VP(s)$$

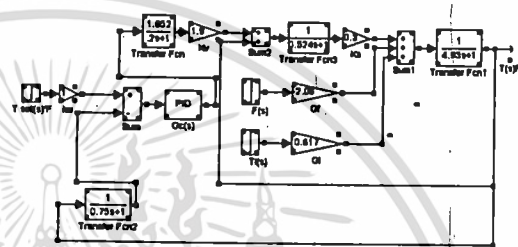
รวมสมการนี้กับฟังก์ชันถ่ายโอนและอุปกรณ์รับวาล์ว จะได้คือ

$$\frac{W(s)}{M(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1}$$

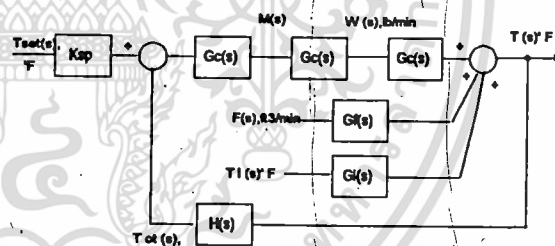
$$\text{เมื่อ } K_v = \frac{W(\ln \alpha)}{100}$$

เราสามารถหาอัตราขยายของอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณได้โดย

$$K_i = \frac{100 - 0}{200 - 100} = 1.0 \% ^0 F$$



รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ง่ายขึ้นของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ

สำหรับบล็อกไดอะแกรมที่สมบูรณ์ของวงรอบแสดงในรูปที่ 2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนทั้งหมด ในไดอะแกรมนี้ได้ถูกพัฒนาจากสมการก่อนหน้าทั้งหมด โดยใช้กฎเกณฑ์ของบล็อกไดอะแกรม เราสามารถทำให้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 และฟังก์ชันการถ่ายโอนที่แสดงในไดอะแกรมคือ

$$G_F(s) = \frac{K_F(\tau_c s + 1)}{(\tau_c s + 1)(\tau_c s + 1) - K_S}$$

$$G_I(s) = \frac{K_I(\tau_c s + 1)}{(\tau_c s + 1)(\tau_c s + 1) - K_S}$$

$$G_S(s) = \frac{K_W K_S}{(\tau_c s + 1)(\tau_c s + 1) - K_S}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงรอบปิดของแต่ละทางเข้าคือ

$$\frac{T(s)}{T^{set}(s)} = \frac{K_{sp} G_c(s) G_v(s) G_s(s)}{1 + H(s) G_c(s) G_v(s) G_s(s)}$$

$$\frac{T(s)}{F(s)} = \frac{G_F(s)}{1 + H(s) G_c(s) G_v(s) G_s(s)}$$

$$\frac{T_i(s)}{T(s)} = \frac{G_i(s)}{1 + H(s) G_c(s) G_v(s) G_s(s)}$$

เมื่อ $G_v(s) = \frac{K_v}{\tau_v s + 1}$

$$H(s) = \frac{K_i}{\tau_i s + 1}$$

สมการคุณลักษณะของวงรอบคือ

$$1 + \frac{K_i}{\tau_i s + 1} K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s + 1} + \tau_D s\right) \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \frac{K_w K_s}{(\tau_s + 1)(\tau_c s + 1) - K_s} = 0$$

ค่าเชิงเลขที่สามารถหาได้ดังนี้

$$K_{op} = K_i = 1.0\% \text{ } ^\circ\text{F} \quad \tau_i = 0.75 \text{ min} \quad \tau_v = 0.320 \text{ min}$$

จากข้อกำหนดของคอยล์จะได้

$$A = (205 \text{ ft}) \pi \frac{(4.500)}{12} \text{ ft} = 241.5 \text{ ft}^2$$

$$C_M = (205 \text{ ft}) (10.8 \frac{\text{lb}}{\text{ft}}) \left(\frac{0.12 \text{ Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}}\right) = 265.7 \frac{\text{Btu}}{^\circ\text{F}}$$

$$\tau = \frac{(120)(68.0)(0.80)}{(2.1)(241.5)(15)(68)(0.8)} = 4.93 \text{ min}$$

$$\tau_c = \frac{265.7}{(2.1)(241.5)} = 0.524 \text{ min}$$

$$K_F = \frac{(68)(0.80)(100 - 150)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = -2.06^\circ\text{F} / (\text{ft}^3 / \text{min})$$

$$K_i = \frac{(15)(68)(0.8)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = 0.617^\circ\text{F} / ^\circ\text{F}$$

$$K_s = \frac{(2.1)(241.5)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = 0.383^\circ\text{F} / ^\circ\text{F}$$

$$K_w = \frac{966}{(2.1)(241.5)} = 1.905^\circ\text{F} / (\text{lb} / \text{min})$$

เพื่อที่จะหาขนาดของวาล์วควบคุมเราจะใช้เงื่อนไขการออกแบบสภาวะที่คงที่

$$\bar{f} \rho C_p \bar{T}_i + UA(\bar{T}_s - \bar{T}) - \bar{f} \rho C_p \bar{T} = 0$$

$$\bar{W} \lambda - UA(\bar{T}_s - \bar{T}) = 0$$

$$T_s = \frac{(15)(68)(0.80)(150 - 100)}{(2.1)(241.5)} = 230^\circ\text{F}$$

$$W = \frac{(2.1)(241.5)(230 - 150)}{966} = 42.2 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

$$K_v = \frac{(42.2)(\ln 50)}{100} = 1.652 \frac{\text{lbm}}{\text{min} \cdot \%}$$

$$W_{\max} = 2\bar{W} = 84.4 \text{ lb} / \text{min}$$

ด้วยค่าที่เป็นจริงเลขเหล่านี้สมการคุณลักษณะคือ

$$s(0.75s+1)(0.20s+1)[(4.94s+1)(0.524s+1)-0.383] + (0.1)K_v$$

$$[s+(1/\tau_i)+\tau_D s^2](1.652)(1.905)(0.383) = 0$$

หรือ

$$0.387 s^3 + 3.272 s^4 + 7.895 s^5 + (6.403 + 1.205 K_v \tau_D) s^2 + (0.617 + 1.205 K_v) s + 1.205 K_v \tau_i = 0$$

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึงหลักพื้นฐานทางวิศวกรรม กระบวนการที่สามารถนำไปใช้ในงาน เพื่อที่จะวิเคราะห์ถึงวงรอบการควบคุมแบบป้อนกลับที่ง่ายได้ จากสมการคุณลักษณะเราสามารถศึกษาถึงเสถียรภาพของวงรอบ หรือจากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงรอบปิดได้ เราสามารถที่จะคำนวณผลตอบสนองของวงรอบปิดต่อการแปรค่าไปของทางเข้าที่เป็นฟังก์ชัน หรือค่าที่แตกต่างกันไปของพารามิเตอร์ที่ถูกปรับเปลี่ยนในเครื่องควบคุม K_v, τ_i, τ_D ได้เช่นเดียวกัน

3. การประมวลผลเชิงตัวเลข

สำหรับบทความนี้จะใช้วิธีการของ Runge - Kutta ได้

จากการกระจายของอนุกรม Taylor โดยทั่วไปจะใช้อันดับที่ 4 ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับ K_5 สมมติค่าเริ่มต้นเป็น (x_i, y_i) หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

หรือ (input, output) ค่าอนุกรม y_{i+1} โดยใช้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือจัดรูปใหม่เป็น

$$\tau SY(s) + Y(s) = KX(s)$$

หรือในโดเมนเวลาเป็น

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t)$$

$$\text{หรือ } \frac{dy(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} (Kx(t) - y(t))$$

จากวิธี Runge - Kutta ใช้ประยุกต์แก้สมการความแตกต่างและนำมาเป็นอัลกอริทึมในการโปรแกรม ได้ดังนี้

$$Y = Y + \left(\frac{\Delta t}{6}\right) (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)$$

$$K_1 = \frac{1}{\tau} (KX - Y)$$

$$K_2 = \frac{1}{\tau} \left(KX + \left(Y + \left(\frac{\Delta t}{2}\right) K_1\right) \right)$$

$$K_3 = \frac{1}{\tau} \left(KX + \left(Y + \left(\frac{\Delta t}{2}\right) K_2\right) \right)$$

$$K_4 = \frac{1}{\tau} \left(KX + \left(Y + \left(\frac{\Delta t}{2}\right) K_3\right) \right)$$

Δt เป็นคาบเวลาในการสุ่มสัญญาณ (Sample Period) ในการทดลองจะใช้ 100 มิลลิวินาที

4.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่ 2

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1}$$

หรือในโดเมนเวลาคือ

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{1}{\tau} \left[Kx(t) - 2\xi\tau \frac{d}{dt} y(t) - y(t) \right]$$

สมการนี้จะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์ของสมการความแตกต่างอันดับที่ 1 โดยขั้นตอนต่อไปนี้จะกำหนดให้

$y_2 = \frac{dy(t)}{dt}$

$$y_2 = \frac{dy(t)}{dt}$$

หรือ

$$\frac{dy_2(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{dy(t)}{dt} = \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

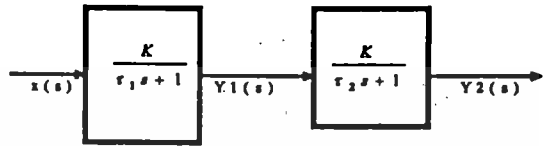
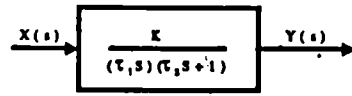
$$\frac{dy_2(t)}{dt} = y_2(t) \quad (4.2.1)$$

$$\frac{dy_2(t)}{dt} = \frac{1}{\tau^2} \left[Kx(t) - 2\xi\tau \frac{d}{dt} y(t) - y(t) \right] \quad (4.2.2)$$

ในการคำนวณเชิงตัวเลขของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับที่สอง ก็จะใช้วิธีการ Runge - Kutta ประยุกต์เข้ากับทั้งสองสมการ คือ 4.2.1 และ 4.2.2 ตามลำดับ

4.3 ฟังก์ชันอันดับที่ 1 ที่ต่อแบบอนุกรม

แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้และสามารถกระทำโดยวิธีการ Runge - Kutta กับสมการดังต่อไปนี้

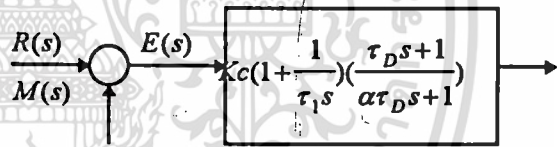


$$\frac{dy_1(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} (Kx(t) - y_1(t))$$

$$\frac{dy_2(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_2} (Ky_1(t) - y_2(t))$$

4.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุม

แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้ และสามารถทำได้โดยวิธีการ Runge - Kutta กับสมการต่อไปนี้



$$E(s) = R(s) - C(s)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kc \left(1 + \frac{1}{\tau_1 s} + \frac{\tau_D s}{\alpha \tau_D s + 1} \right)$$

เมื่อ

Kc เป็นอัตราขยายของเครื่องควบคุม

τ_1 เป็นเวลาอินทิกรัล (Integral time)

τ_D เป็นเวลาเดอริเวทีฟ (Derivative Time)

$E(s)$ เป็นค่าผิดพลาด (Error)

$R(s)$ เป็นค่าเป้าหมาย (Set Point)

α เป็นพารามิเตอร์ของตัวกรองสัญญาณรบกวน

(Noise filter parameter) ปกติมีค่าระหว่าง 0.05 - 0.10

$M(s)$ เป็นสัญญาณทางออกของเครื่องควบคุม

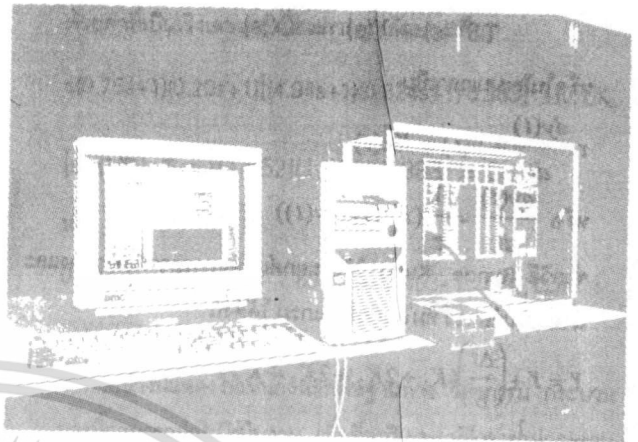
$C(s)$ เป็นตัวแปรที่ถูกควบคุม

5. การทดลอง

การทดลองในบทความนี้ใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2 และใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการควบคุมทั้งหมด จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถนำมาประกอบกันเป็นวงรอบการควบคุมที่เป็นอันดับหนึ่งทั้งสิ้น

โดยจะใส่พารามิเตอร์ของสัญญาณทางเข้า ค่าอัตราขยาย และค่าเวลาคงตัวให้กับฟังก์ชันอันดับที่ 1 และส่งกลับเป็นค่าของสัญญาณทางออก และจัดฟังก์ชันอันดับที่ 1 เหล่านี้ให้สอดคล้องกับบล็อกไดอะแกรม ก็สามารถจะรู้ค่าของผลตอบสนองของอุปกรณ์ต่างๆ ในวงรอบต่างๆ ได้ และถ้าต้องการนำค่าจากจุดใดๆ ในวงรอบออกสู่ภายนอก หรือรับเข้าไปเป็นสัญญาณทางเข้าก็ส่งค่าหรือรับค่ามันๆ ผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณต่อไป พร้อมทั้งได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร ที่ถูกควบคุม (PV) และค่าตัวแปรจัดการ (MV) ต่อเวลา (t) เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการต่อกับเครื่องควบคุมทางอุตสาหกรรม

6. ผลการทดลอง

การทดลองได้แบ่งเป็น 2 ส่วน

6.1 สำหรับส่วนแรกจะทำการทดลองโดยการจำลองทั้งวงรอบ ซึ่งภายในวงรอบจะประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนของถัง Reactor, วาล์ว, เครื่องควบคุมแบบ PID, อุปกรณ์ตรวจวัด และสัญญาณรบกวนอันเนื่องจากอุณหภูมิ และอัตราไหลของของเหลวทางเข้าของกระบวนการโดยกำหนดให้คงที่ก่อน ทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจนสามารถควบคุมได้ และทดลองปรับค่าของสัญญาณรบกวนทั้งสอง จะพบว่าเกิดการเบี่ยงเบนของตัวแปรที่ถูกควบคุมก็สามารถติดตามแก้ไขความผิดพลาดได้

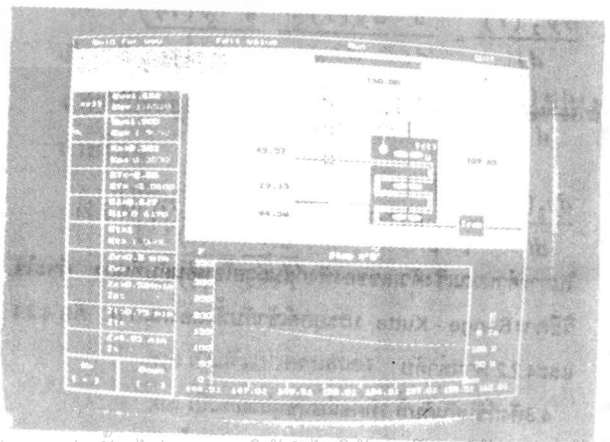


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรที่ถูกควบคุม และตัวแปรจัดการที่แปรค่าไปต่อเวลาขณะควบคุมด้วยเครื่องควบคุมภายนอก

6.2 การทดลองในส่วนที่สองนี้ จะทำการส่งผ่านค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมออกทางอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ และส่งสัญญาณระดับแรงดัน 1 - 5 โวลต์ให้กับเครื่องควบคุม PID Unit ภายนอกและเครื่องควบคุมดังกล่าวให้ได้ค่าของตัวแปรควบคุมเข้าทางอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณที่ทางเข้า และนำค่าเชิงเลขที่ได้มาเป็นค่า M(s) ที่วาล์วควบคุม ผลการทดลองนั้นถูกต้อง สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เครื่องควบคุมภายนอกทำการควบคุมวาล์วเพื่อให้ไอน้ำเข้าไปในกระบวนการได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังได้ให้ค่าของอุณหภูมิทางเข้าของเหลวซึ่งเป็นตัวแปรรบกวนนั้นเป็นลูกคลื่นขยับขึ้นความถี่ 0.1 เฮิรตซ์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ผลปรากฏว่าเครื่องควบคุมภายนอกสามารถกระทำการควบคุมได้

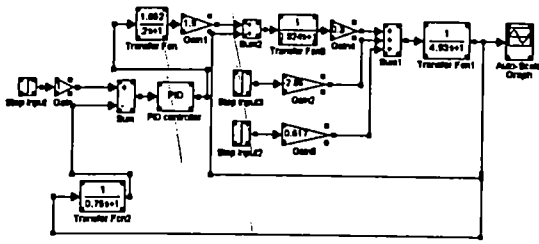
7. สรุป

การวิจัยในหัวข้อการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ ในการจำลองกระบวนการนี้ เหตุผลก็เพื่อทำการสร้างกระบวนการขึ้นมาในรูปแบบจำลอง แม้ว่าจะไม่มีการสร้างทางฮาร์ดแวร์ของกระบวนการก็ตาม แต่พารามิเตอร์ทุกส่วนของอุปกรณ์ที่ประกอบกันในวงรอบนั้นเป็นค่าที่สามารถคำนวณได้อย่างแท้จริง เราสามารถทำการปรับเปลี่ยนขนาดให้สามารถย่อหรือขยายขนาดของกระบวนการได้ทุกส่วน และยังสามารถกำหนดให้สัญญาณรบกวนสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ตามความต้องการอีกด้วย

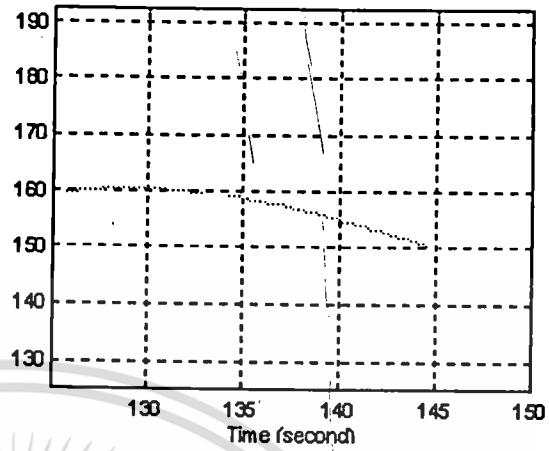


รูปที่ 6 แสดงเครื่องควบคุมได้แก้ไขค่าเมื่อสัญญาณรบกวนเป็นลูกคลื่นขยับขึ้นของอัตราไหลทางเข้า

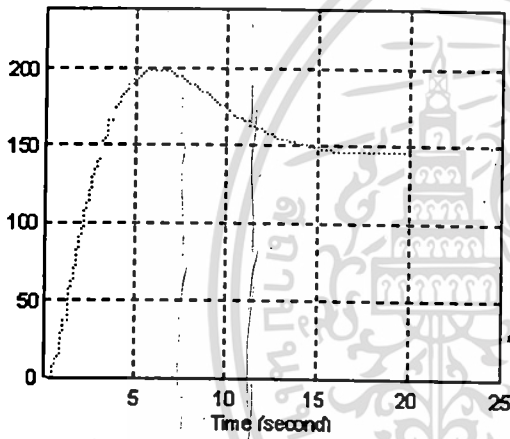
การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 7 จำลองบล็อกไดอะแกรมของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้ MATLAB วิเคราะห์



รูปที่ 10 ผลตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ถูกสัญญาณรบกวนเป็นลูกคลื่นซายน์ของอัตราไหลทางเข้าโดยใช้ MATLAB วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 6



รูปที่ 8 ผลตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ถูกควบคุม โดยควบคุมด้วยเครื่องควบคุมภายใน

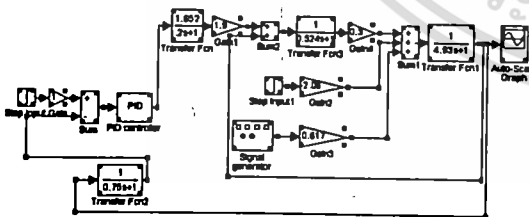
8.เอกสารอ้างอิง

8.1 CARLOS A. SMITH, AMANDO B. CORRIPIO

Principles and Practice of Automatic Process Control John Wiley & Sons, Inc 1985

8.2 STEVEN A. CHAPRA, RAYMOND P. CANALE

Numerical Methods for Engineers MC. GRAW - HILL, INC 1988



รูปที่ 9 จำลองบล็อกไดอะแกรมของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ โดยป้อนสัญญาณรบกวนเป็นลูกคลื่นซายน์ของอัตราไหลที่ทางเข้า โดยใช้ MATLAB วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้