

การจำลองทางทฤษฎีของระบบปรับอากาศแบบหลายตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด Theoretical Simulaton of the optimal Multi-Variables Air Conditioning Systems

มงคล มงคลวงศ์โรจน์¹ วสิน สารวิทย์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ. ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Mongkol Mongkolwongrojn¹ Wasin Sarawit²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkung Road, Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand

Tel 02-3264197 Ext. 103 Email : kmmongko@kmitl.ac.th¹ s3062020@kmitl.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศแบบหลายตัวแปรที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้การควบคุมทั้งอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศภายในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้อง 77 °F และความชื้นที่ 0.0092 ปอนด์ไอน้ำต่อปอนด์อากาศแห้ง ตามลำดับ จากการเขียนสมการพลังงาน และกฎทรงมวลจะได้โมเดลทางคณิตศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น และได้ทำการแปลงสมการให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นโดยอนุกรมเทเลอร์ งานวิจัยนี้ได้จำลองระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้วิธีสี่เหลี่ยมคางหมูแบบออยเลอร์หาความเหมาะสมของการควบคุม ด้วยสัญญาณป้อนกลับที่เหมาะสมโดยการควบคุมอัตราการไหลของลมเย็น และการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ให้ระบบปรับอากาศสามารถทำงานได้เหมาะสมที่สุด ผลการจำลองพบว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ประมาณ 1 °F และความชื้นประมาณ 0.01 ปอนด์ไอน้ำต่อปอนด์อากาศแห้ง

Abstract

This paper presented the optimal control of multivariable air conditioning system using linear quadratic regulator. The room temperature and humidity are controlled to maintain at 77 °F and 0.0092 lb vapor per lb dry air. The nonlinear mathematical model was formulated using energy and continuity equations. The linear model can be obtained using Taylor's series approximation method. Linear quadratic regulator performance index was implemented to regulate the flow rate of air supply and the refrigerant flow rate for optimal control of the air conditioning system by using MATLAB.

1. บทนำ

การใช้พลังงานจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในเชิงอุตสาหกรรม และทางด้านอาคารพาณิชย์อยู่ที่ 50 % ของพลังงานที่ใช้ทั่วโลก [1] ความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้าน Microprocessor และผลการพัฒนาวิธีการควบคุมใหม่ ๆ ของระบบ HVAC (Heating , ventilating , and air conditioning) ก็เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของกระบวนการ การทำงานของอุปกรณ์ HVAC ในอาคารพาณิชย์และอุตสาหกรรมซึ่งยังคงถือว่าไม่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง

การควบคุมระบบ HVAC ออกเป็น ON / OFF Controller (thermostats) และ Proportional Integral Derivative (PID) ซึ่งยังคงเป็นชนิดของตัวควบคุม ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างมาก เพราะว่ามีราคาต่ำ อย่างไรก็ตามในระยะยาวตัวควบคุมเหล่านี้จะแพงขึ้น เพราะว่าพวกมันจะทำงานได้มีประสิทธิภาพของพลังงานต่ำมาก

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ และ มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศก็คือ ระบบ HVAC จะถือกำหนดตั้งค่าการทำงานไว้ที่ภาวะทางการออกแบบ ในขณะที่ภาวะทางความร้อนจริง ๆ นั้น จะมีผลต่อระบบตลอดเวลา ดังนั้นการควบคุมจะต้องคำนึงถึงภาวะที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อว่าจะสามารถสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และรักษาความสบายได้ดีกว่าการควบคุมแบบธรรมดา

บทความนี้จะกล่าวถึง การควบคุมที่เหมาะสมของปริมาณลมแปรเปลี่ยนของระบบ HVAC ซึ่งจะสามารถคงไว้ที่ภาวะความสบายของพื้นที่ปรับอากาศภายใต้ภาวะทางความร้อนสภาวะหนึ่ง

วัตถุประสงค์ที่ต้องการคือการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมโดยวิธี Linear quadratic regulator ตัวควบคุมที่จะให้ได้มาซึ่งวัตถุประสงค์นี้คือการประเมินภาวะที่เหมาะสมต่อระบบ โดยใช้การประมาณการควบคุมเงื่อนไขของความสบายในพื้นที่ปรับอากาศ บทความนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น ส่วน ๆ ดังนี้

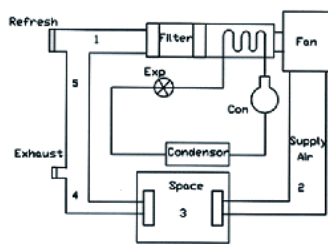
ส่วนเนื้อหา จะกล่าวถึง โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศ การออกแบบสภาวะและ การประมาณภาวะทางความร้อน ผลของการควบคุมของระบบเปิด วิธีที่ใช้ในการควบคุมที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศ และผลจากการจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์

2.เนื้อหา

2.1 สมการทางคณิตศาสตร์

2.1.1 รายละเอียดและส่วนประกอบของระบบ

พิจารณาระบบปรับอากาศ และ ระบายอากาศแบบเขตเดียวดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะประกอบด้วย ชุดเครื่องของระบบปรับอากาศ พัดลมหมุนเวียน พื้นที่ปรับอากาศ เครื่องทำความเย็นนี้ จะจัดส่งสารทำความเย็นไปยังคอยด์ ทำความเย็นนอกจากนี้ยังมีท่อลม ตัวปรับปริมาณลม และส่วนผสมอากาศ ในการพิจารณานี้ เราสมมติว่าระบบทำงานในรูปแบบของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 1

พื้นฐานการดำเนินการของระบบในส่วนของการทำความเย็นเป็นดังนี้

1. สมมติให้ปริมาณอากาศ 25% ของอากาศบริสุทธิ์ถูกนำเข้ามาในระบบโดยจะผสมกับปริมาณ อากาศ 75% ของอากาศหมุนเวียน
2. อากาศที่ถูกผสม (ตำแหน่งที่ 1) จะเข้าสู่ คอยด์ทำความเย็นก่อนที่จะถูกปรับสภาพอากาศ
3. อากาศที่ออกจากคอยด์ ที่ถูกปรับสภาพเรียบร้อยแล้ว และจะเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศซึ่งจะถูกเรียกว่า ลมส่ง(ตำแหน่งที่ 2)
4. ลมส่งที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ จะจัดการหักล้างความร้อนสัมผัส (ความร้อนทางปฏิบัติ) และ ความร้อนแฝง (ความชื้นสัมผัส) ที่กระทำต่อระบบ

5. สุดท้ายอากาศในพื้นที่ปรับอากาศจะถูกดูดออก โดยพัดลม (ตำแหน่งที่ 4) โดยมีปริมาณลม 75 % ของอากาศที่ถูกดูดออกนี้จะกลับเข้าหมุนเวียนใหม่โดยส่วนที่เหลือจะถูกทิ้งออกจากระบบ

ตัวควบคุมจะรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่ปรับอากาศไว้ที่ จุดตั้งค่าคือ 77°F และ 55% ตามลำดับการควบคุม ข้อมูลที่เข้ามาในระบบคือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และ อัตราการหมุนเวียนของอากาศที่ใช้ปรับความเร็วของพัดลม ซึ่งค่าเหล่านี้จะมีผลต่อลักษณะของระบบ HVAC ดังนี้

- ระบบการปรับปริมาณลมแปรเปลี่ยน (VAV) จะส่งผลในการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด

- ระบบการปรับความเร็วรอบของ Compressor จะช่วยลดพลังงานของมอเตอร์ในช่วงภาระน้อยๆ และขจัดพลังงานไฟฟ้าในขณะคอมเพรสเซอร์ปฏิบัติงาน

สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะครอบคลุมขอบเขตของระบบควบคุมสำหรับระบบ HVAC

โดยเริ่มตั้งแต่วิกฤตการณ์น้ำมันเมื่อปี 1970 ก็ได้มีผู้ศึกษาการเปลี่ยนแปลง และเทคนิคการควบคุมที่เหมาะสมของการทำความร้อนและความเย็นภายในอาคาร โดยแสงอาทิตย์ โดยตัวควบคุมได้ถูกออกแบบบนพื้นฐานของการทำงานเชิงเส้นรอบ ๆ จุดทำงาน ต่อมาก็ได้มีการออกแบบ ปรับเปลี่ยนโครงสร้างการควบคุมของระบบ HVAC โดยเทียบจากรูปแบบของความรู้จากผู้ใช้ ซึ่งต่อมาได้มีผู้ทำการออกแบบโดยแยก linear quadratic ออกเป็น 2 อินพุต , 2 เอาพุต ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องทำความร้อนและเครื่องทำความเย็น ซึ่งได้รูปแบบการระบบปรับอากาศเป็นแบบเชิงเส้น

จะเห็นได้ว่างานวิจัยต่าง ๆ ข้างต้นนี้มีพื้นฐานจาก linearized Mathematical Model ของ HVAC plant และตัวควบคุมได้ถูกออกแบบโดยใช้ทฤษฎีของ linear quadratic regulator

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมที่มีอยู่อย่างถาวรคือแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นแบบเชิงเส้น โดยวิธี linearized Mathematical Model เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาที่สภาวะหนึ่งที่เหมาะสมในตัวควบคุมระบบปิด จะได้ช่วยลดผลงานภาวะความร้อนทั้งอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ปรับอากาศโดยใช้ทฤษฎี linear quadratic regulator

วัตถุประสงค์ก็เพื่อที่จะออกแบบระบบHVAC ให้สามารถคงไว้ซึ่งความสบายของพื้นที่ปรับอากาศ โดยปราศจากการสูญเสียและสิ้นเปลืองพลังงานซึ่งถือว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ HVAC ในเชิงอุตสาหกรรม และการพาณิชย์

2.2 สมการของระบบปรับอากาศ

สมการ ดิฟเฟอเรนเชียล จะอธิบายถึงพฤติกรรมทางด้านพลศาสตร์ของระบบHVAC ในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถหาได้จากหลักการอนุรักษ์พลังงานและกฎทรงมวล [1] ดังนี้

$$\begin{aligned}\dot{T}_3 &= \frac{f}{V_s}(T_2 - T_3) - \frac{f \times h_{fg}}{C_p V_s}(w_s - w_3) + \frac{1}{\rho V_s C_p}(Q_o - h_{fg} M_o) \\ \dot{w}_3 &= \frac{f}{V_s}(w_2 - w_3) + \frac{M_o}{\rho V_s} \\ \dot{T}_2 &= \frac{f}{V_{he}}(T_3 - T_2) + 0.25 \frac{f}{V_{he}}(T_o - T_3) \\ &\quad - \frac{f \times h_{ref}}{C_p V_{he}}((0.25w_o - 0.75w_3) - w_s) - \frac{nV\Delta h_{ref}}{C_p V_{he}}\end{aligned}\quad (1)$$

สมการข้างต้นได้มาจากข้อสมมติดังนี้

1. ประพัตติเป็นเกาส์ในอุดมคติ
2. การผสมกันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
3. เป็นขบวนการความดันคงที่
4. ไม่สนใจการเก็บความร้อนของผนัง
5. ไม่สนใจการซึมผ่านของอากาศเข้าและออก
6. ไม่สนใจการสูญเสียความร้อนระหว่างส่วนประกอบ
7. ไม่สนใจผลชั่วขณะของการไหลในตัวแบ่งแยกและตัวผสม

จากสมการ (1) กำหนดให้

$$\begin{aligned}u_1 &= f & u_2 &= N & x_1 &= T_3 & x_2 &= w_3 \\ x_3 &= T_2 & y_1 &= T_3 & y_2 &= w_3\end{aligned}$$

และกำหนดให้ตัวแปรดังนี้

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{1}{V_s} & \alpha_2 &= \frac{h_{fg}}{C_p V_s} \\ \alpha_3 &= \frac{1}{\rho C_p V_s} & \alpha_4 &= \frac{1}{\rho V_s} & \beta_1 &= \frac{1}{V_{he}} \\ \beta_2 &= \frac{1}{C_p V_{he}} & \beta_3 &= \frac{h_{ref}}{C_p V_{he}}\end{aligned}$$

ดังนั้นสมการ (1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= u_1 \alpha_1 (x_3 - x_1) - u_1 \alpha_2 (w_s - x_2) \\ &\quad + \alpha_3 (Q_o - h_{fg} M_o) \\ \dot{x}_2 &= u_1 \alpha_1 (w_s - x_2) + \alpha_4 M_o \\ \dot{x}_3 &= u_1 \beta_1 (x_1 - x_3) + u_1 15 \beta_1 (T_o - x_1) \\ &\quad - u_1 \beta_3 60 ((0.25w_o + 0.75x_2) - w_s) \\ &\quad - \beta_2 n V u_2 60 \Delta h_{ref} \\ y_1 &= x_1 \\ y_2 &= x_2\end{aligned}\quad (2)$$

สำหรับกฎการควบคุมและ จุดประสงค์ของการออกแบบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของ HVAC เป็นดังสมการ (2) ซึ่งจะเขียน

อยู่ในรูปของ linearized โดย Taylor's series ณ จุดอ้างอิงที่สถานะหนึ่ง แล้วจัดสมการอยู่ในรูป state space จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= cx + Du\end{aligned}$$

เนื่องจากใช้ Taylor's series ที่จุดสมดุล [3] ในการแก้สมการของระบบ สมการที่ได้จะอยู่ในรูปของค่า

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta x(t)}{dt} &= A\Delta x(t) + B\Delta u(t) \\ \Delta y(t) &= C\Delta x(t) + D\Delta u(t)\end{aligned}$$

โดยจะมีค่า $\Delta x(t) = x(t) - x_Q(t)$, $\Delta u(t) = u(t) - u_Q(t)$ และค่า

A, B, C และ D เท่ากับโดย

$$\begin{aligned}A &= \begin{bmatrix} -u_{1s} \alpha_1 60 & \alpha_2 60 u_{1s} & u_{1s} \alpha_1 60 \\ 0 & -u_{1s} \alpha_1 60 & 0 \\ u_{1s} \beta_1 60 - u_{1s} \beta_1 15 & -u_{1s} \beta_3 45 & -u_{1s} \beta_1 60 \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} \alpha_1 60 X_{3s} - \alpha_1 60 X_{1s} - \alpha_2 60 w_s + \alpha_2 60 X_{2s} & 0 \\ \alpha_1 60 w_s - \alpha_1 60 X_{2s} & 0 \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix} \\ C &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ D &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b_{31} &= \beta_1 60 X_{1s} - \beta_1 60 X_{3s} + 15 \beta_1 T_o - 15 \beta_1 X_{1s} \\ &\quad - \beta_3 60 \times 0.25 w_o - \beta_3 60 \times 0.75 X_{2s} + \beta_3 60 w_s \\ b_{32} &= -\beta_2 n V 60 \Delta h_{ref}\end{aligned}\quad (3)$$

ค่าเชิงตัวเลขที่ที่ใช้ในการจำลองเป็นดังตารางที่ 1 และเงื่อนไขหรือสภาวะการทำงานเป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1

ค่าของตัวแปรในระบบ

$\rho = 0.74 \text{ lb/ft}^3 \quad (1.19 \text{ kg/m}^3)$
$C_p = 0.24 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \quad (1.005 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C})$
$f_{ref} = 400 \text{ cfm} \quad , \quad f_{oref} = 100 \text{ cfm}$
$t_f = 24 \text{ hours}$
$T_{2ref} = 55^\circ\text{F} \quad , \quad T_{3ref} = 77^\circ\text{F}$
$w_s = 0.0070 \text{ lb/lb} \quad , \quad w_{3ref} = 0.0092 \text{ lb/lb}$
$V_s = 45 \text{ ft}^3$
$V_{he} = 2.5 \text{ ft}^3$

ตารางที่ 2

เงื่อนไขของระบบ HVAC

$X_1 = 77^\circ\text{F}$	$X_2 = 0.0092 \text{ lb/lb}$
$X_3 = 55^\circ\text{F}$	$w_o = 0.018 \text{ lb/lb}$

$T_0 = 85^\circ F$	$w_s = 0.0070 \text{ lb/lb}$
$u_1 = 400 \text{ cfm}$	$u_2 = 3000 \text{ rpm}$

2.2 การควบคุมระบบเปิด

สมการของระบบปรับอากาศค่าที่ถูกใช้ในการจำลองจะมีค่าดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 รวมถึงค่าคงที่ดังต่อไปนี้

$$\Delta h_{ref} = 67 \text{ Btu / lbm}$$

ผลต่างเอนทาลปีของน้ำยาทำความเย็น R-12 ที่ $10^\circ F$

$$h_{fg} = 1049.6 \text{ Btu / lbm}$$

ค่าเอนทาลปีของไอน้ำประมาณที่อุณหภูมิ $77^\circ F$

$$h_w = 23.07 \text{ Btu / lbm}$$

ค่าเอนทาลปีของน้ำสถานะของเหลวที่อุณหภูมิ $55^\circ F$

สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศนี้ เป็นระบบไม่เชิงเส้น ซึ่งสามารถจัดการเป็นระบบเชิงเส้น ได้โดยวิธี Linearization รอบ ๆ จุดที่กำหนดของการปฏิบัติงานดังตารางที่ 2 และแทนค่า ที่ได้ลงใน state space จะได้

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (4)$$

โดยเมตริก A และ B มีค่าดังนี้

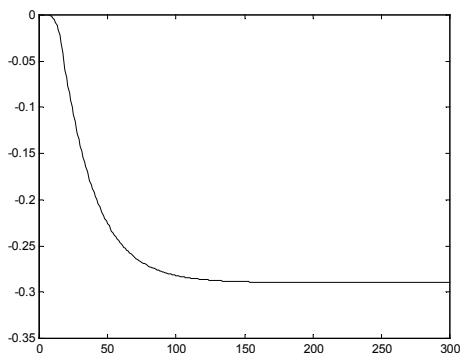
$$A = \begin{bmatrix} -5.33 \times 10^{-2} & 2.3546 \times 10^6 & 5.33 \times 10^2 \\ 0 & -5.33 \times 10^2 & 0 \\ 7.2 \times 10^3 & -6.921 \times 10^5 & -9.6 \times 10^3 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -1.6383 \times 10^4 & 0 \\ -2.933 \times 10^{-3} & 0 \\ 6.2585 \times 10^2 & -7.97 \times 10^2 \end{bmatrix}$$

เอาพู่ทของระบบโดยมีเมตริก C เป็น

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

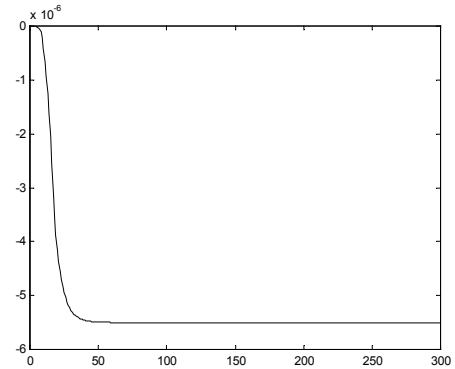
ค่าผลตอบแทนของผลต่างของอุณหภูมิ
ผลต่างอุณหภูมิ $^\circ F$



เวลา (วินาที)

รูปที่ 2 (ก)

ผลตอบแทนของค่าผลต่างความชื้น
ผลต่างความชื้น (lb/lb)



เวลา (วินาที)

รูปที่ 2 (ข)

รูปที่ 2 (ก) (ข) แสดงค่าผลต่างของค่าตอบสนองที่ได้ของระบบ state space ของผลต่างอุณหภูมิระบบ ณ จุดอ้างอิง

3.ความเหมาะสมในการควบคุม

สิ่งที่เป็นตัวแสดงในการจัดการระบบที่ออกแบบหนึ่ง ๆ จากระบบที่ได้อธิบายไปโมเดลของระบบจะสามารถจัดอยู่ในรูปโมเดลทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\dot{x}(t) = f(x, u, t)$$

โดย $x(t) \in R^n$ คือ เวกเตอร์ของ state ภายใน และ $u(t) \in R^m$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณป้อนควบคุม ซึ่งจะนำไปใช้ในการควบคุมระบบ ร่วมกับสมการวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเลือกค่าของระบบการควบคุม

$$J(t_0) = \phi(x(T), T) + \int_{t_0}^T L(x(t), u(t), t) dt$$

โดย

$[t_0, T]$ คือ ช่วงเวลาที่สนใจ

$\phi(x(T), T)$ คือ ฟังก์ชันที่ได้ ณ เวลาสุดท้ายที่สนใจ

$L(x(t), u(t), t)$ คือ ค่าที่ถูกเลือกขึ้นอยู่กับสมการวัตถุประสงค์

ปัญหาในความเหมาะสมในการควบคุมคือหาค่าอินพุต $u(t)$ ในช่วงเวลา $[t_0, T]$ แล้วเลือกหาค่าที่เหมาะสมมาใช้ในระบบเพื่อหาค่าทิศทางความเป็นไปของ $x(t)$ สิ่งที่เป็นตัวกำหนดในการเลือกไปใช้กับระบบควบคุม [4] เพื่อที่จะออกแบบให้มีการใช้พลังงานน้อย และ ได้ใช้แสดงอยู่ในรูปของ linear quadratic regulator คือ

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (x^T Q x + u^T R u) dt$$

โดย

Q คือ ค่าเมตริกที่ใช้กำหนดค่าของ **state**

R คือ ค่าเมตริกที่ใช้กำหนดค่าของสัญญาณควบคุม

สมการ Ricati คือ

$$-\dot{S} = A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q, \quad t \leq T \quad (6)$$

สำหรับความเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินในสมการ Ricati

(6) ในช่วงเวลาที่พิจารณาเพื่อจะนำไปหาค่าป้อนกลับ ในที่นี้สามารถคำนวณได้โดย

$$K = R^{-1}B^T S \quad (7)$$

ผลสุดท้ายตัวแปรที่จัดการการควบคุม $u(t)$ ถูกนำไปใช้กับระบบโดย

$$u(t) = -Kx(t) \quad (8)$$

4.การวิเคราะห์ผลของการจำลอง

วัตถุประสงค์ของความเหมาะสมในการควบคุมระบบ คือ พิจารณา ค่าป้อนกลับที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเลือกได้จากการใช้รูปแบบ linear quadratic regulator ดังนั้นค่าที่เลือกป้อนกลับนั้นขึ้นอยู่กับทางเลือกสัญญาณควบคุม และเมตริกของ state

Q และ **R** ตามลำดับ

ค่าเมตริก **Q** และ **R** ที่ถูกเลือกเป็น

$$Q = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ผลตอบสนองของระบบเอาพุทและค่าตัวแปร state รวมถึงสัญญาณผลต่างสัญญาณอินพุทที่สภาวะอ้างอิง unit step $r(t)$ แสดงดังรูปที่ 3 จากการเลือกค่านี้นี้จะได้ค่าป้อนกลับที่คำนวณได้เป็น

$$K1 = \begin{bmatrix} 4.712 \times 10^{-1} & 1.0718 \times 10^3 & 5.8285 \times 10^{-2} \\ -2.2796 & -7.0328 \times 10^3 & -1.6686 \times 10^{-1} \end{bmatrix}$$

จากนั้นได้ทำการเลือกค่า **Q** และ **R** เพื่อให้เปรียบเทียบค่าผลตอบสนองที่ได้ของผลต่างสัญญาณเอาพุทของอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งได้ทำการเลือกค่านี้นี้

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.001 \end{bmatrix}$$

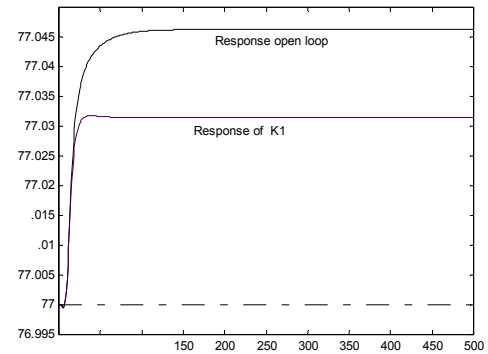
$$R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix}$$

ผลตอบสนองของระบบเอาพุทและค่าตัวแปร state รวมถึงสัญญาณผลต่างอินพุท unit step $r(t)$ แสดงดังรูปที่ 4 จากการเลือกค่านี้นี้จะได้ค่าป้อนกลับที่คำนวณได้เป็น

$$K2 = \begin{bmatrix} 1.2859 \times 10^{-1} & 3.4023 \times 10^2 & 7.4 \times 10^{-3} \\ -6.9867 \times 10^{-1} & -2.399 \times 10^3 & -3.8957 \times 10^{-2} \end{bmatrix}$$

ผลตอบสนองของอุณหภูมิ

อุณหภูมิ °F

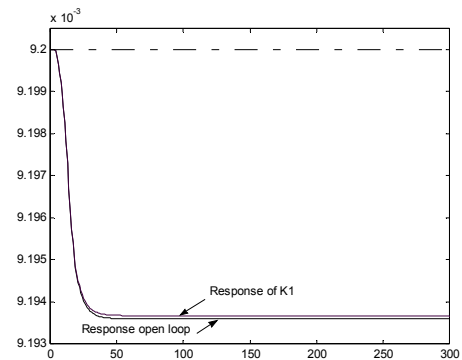


เวลา (วินาที)

รูป 3 (ก)

ผลตอบสนองของความชื้น

ความชื้นสัมบูรณ์ lb/lb



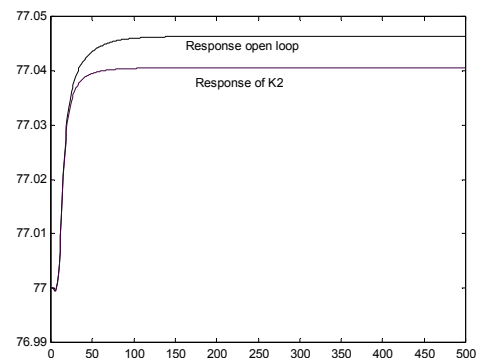
เวลา (วินาที)

รูปที่ 3 (ข)

รูปที่ 3 (ก) (ข) ผลตอบสนองของค่าป้อนกลับ K1

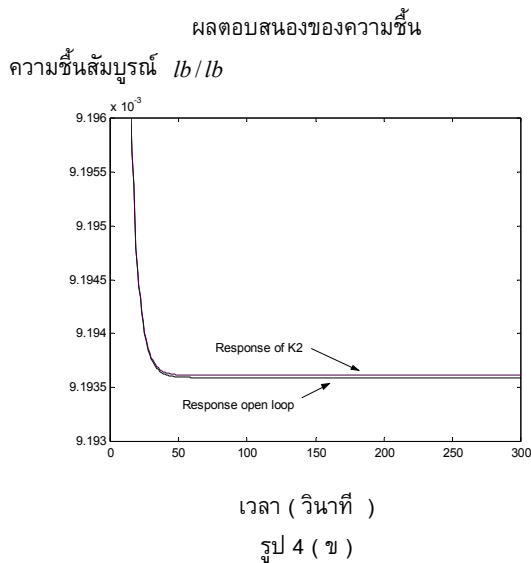
ผลตอบสนองของอุณหภูมิ

อุณหภูมิ °F



เวลา (วินาที)

รูป 4 (ก)



รูปที่ 4 (ก) (ข) ผลตอบสนองของค่าป้อนกลับ K2

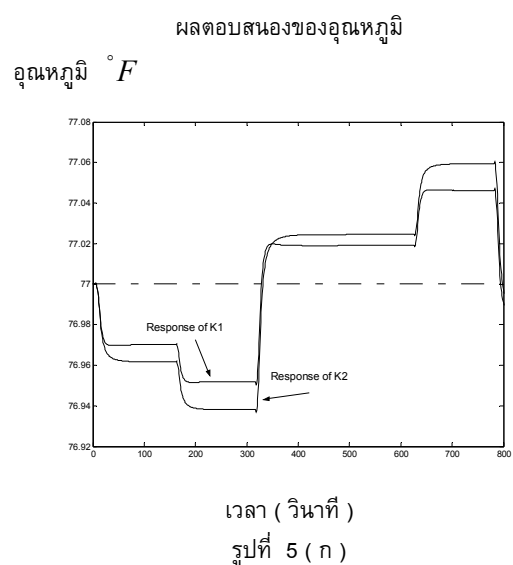
ค่าที่ได้จากรูปที่ 3 เหมาะสมเนื่องจากเวลา ที่ใช้ในการควบคุมใช้เวลาประมาณคือ ที่อุณหภูมิประมาณ 70 วินาทีและความชื้นประมาณ 60 วินาที MATLAB ถูกนำมาใช้ในการจำลองโมเดลนี้ ผลที่ได้ดัง รูปที่4 ซึ่งเปรียบเทียบกับรูปที่ 3 คือ ระบบในรูปที่ 4 จะลู่เข้าค่าผลต่างเร็วกว่า ระบบในรูปที่ 3 นั่นก็คือ เวลาที่ใช้ในการควบคุมระบบนั้นเร็วกว่าและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการควบคุมนั่นเองดังรูปที่ 5

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ที่ให้การช่วยเหลือในการทำทความนี้

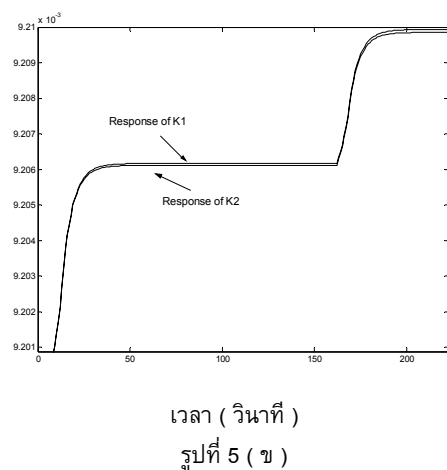
6.บทสรุป

บทความนี้จะกล่าวถึง ตัวควบคุมระบบปรับอากาศที่เหมาะสม โดยวิธี Linear quadratic regulator เพื่อจะนำไปหาค่าป้อนกลับที่เหมาะสมไปใช้ จะทำให้เกิดประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน จากการควบคุมพัดลมของลมจ่าย และมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ ให้มีการทำงานอย่างต่อเนื่องของระบบปรับอากาศนี้ รวมถึงอุณหภูมิ และ ความชื้นในห้องนั้นเป็นไปตามการควบคุมที่กำหนดไว้ด้วย ด้วยเวลาการควบคุมอุณหภูมิ และ ความชื้นที่เหมาะสม จากการจำลองพบว่า การตอบสนองจะใช้เวลาประมาณ 50 วินาที ก่อนถึงสภาวะคงตัว



ผลตอบสนองของความชื้น

ความชื้นสัมบูรณ์ lb/lb



รูปที่ 5 (ก) (ข) แสดงผลตอบสนองของสัญญาณป้อนเข้าที่จุดอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.S. Imbabi : “ Computer validation of scale Model tests for building energy simulation ” ,Int J.Energy Res., vol.14 ,pp 727 –736 ,1990
- [2] Betzaida Arguello-Serrano, Miguel Velez-Reyes, “Nonlinear Control of a Heating, Ventilating and Air Conditioning System with Thermal Load Estimation” , IEEE Transactions on control systems technology, Vol. 7, No 1 January 1999, pp. 56-63.

[3] Graham C. Goodwin, Stefan F. Graebe, Mario E. Salgado, "Control System Design", New Jersey, Prentice Hall.

[4] Frank L. Lewis, "Applied Optimal Control & Estimation", Digital Design & Implementation, New Jersey, Prentice Hall.

[4] John J. D'Azzo, Constantine H. Houpis, "Linear Control System Analysis and design", Conventional and modern, Electrical Engineering Series, Mc Graw Hill.

[5] Sigurd Skogestad, Ian Postlethwaite, "Multivariable Feedback Control", Analysis and design, John Wiley & Son.

[6] C. Henry Edwards, David E. Penny, "Differential Equations & Linear Algebra", Prentice Hall.