

การประมาณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์จุดระเบิดโดยวิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้ Load Torque Estimation of SI Engine using Adaptive Observer-Compensator

ยุทธพร คำชู^{1,*}, ธีทัต ดลวิชัย¹, จิระพล ศรีเสริฐผล¹ และ จักรานันท์สุคนธ์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 3000
*Email: yuthykyumchoo@hotmail.com, 085-4940819

บทคัดย่อ

ไดนาโมมิเตอร์(Dynamometer) เป็นอุปกรณ์วัดกำลังของเครื่องจักรต้นกำลังที่มีความสำคัญต่อการวิจัยพัฒนาในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดัดแปลงให้สามารถใช้เชื้อเพลิงทางเลือกประเภทต่างๆได้ การให้ภาระกรรมของไดนาโมมิเตอร์กับเครื่องยนต์ระหว่างการปรับแต่งอาศัยหลักการของการดูดกลืนพลังงาน (Energy Absorption) จากเครื่องยนต์ ในขณะที่เดียวกันมีการวัดแรงบิด (Torque) และความเร็วเชิงมุม (Rotational Speed) ของเครื่องยนต์นั้นๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามวิธีการดูดกลืนพลังงาน ได้แก่ การใช้ระบบชลศาสตร์ (Hydraulic), ระบบอุทกสถิตย (Hydrostatic) และ ระบบไฟฟ้า (Electric) ซึ่งแต่ละระบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามไดนาโมมิเตอร์ที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และมีราคาแพง ทำให้ผู้ปรับแต่งเครื่องยนต์ไม่สามารถจัดหามาใช้ได้โดยทั่วไป ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณแรงบิดภาระกรรม โดยใช้วิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้(Adaptive observer-compensator) ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อแทนไดนาโมมิเตอร์ได้

คำหลัก: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์, การประมาณค่าตัวแปร, การสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

Abstract

Dynamometer is power measure device of engine prime mover which is an important part for engine developing in several directions. Especially, the research of performance modification in the internal combustion engine for be used the several of alternative fuel. The principal of the dynamometer loading applied with the engine is used the energy absorption from the engine. In addition, the torque and rotational speed of the engine are measured. The general of dynamometer are classify by several type as follow the energy absorption method such as, the hydraulic type, hydrostatic type, and electric eddy current type. The merit and demerit of individual dynamometer type are several different. In usually, the large size of import dynamometer is so expensive. In addition, the general dynamometers are not flexible for internal combustion engine research tuning. So that, it effect to the engine modifier cannot fulfill. This paper are presents the estimate the engine load torque using the adaptive observer-compensator that can estimate engine state variables and calculate engine load torque simultaneously. Therefore, the method has ability to apply and implement as dynamometer.

Keywords: Mathematical model of the engine, Parameter estimation, Adaptive observer-compensator

1.เนื้อหา

ในบทความนี้นำเสนอการประมาณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์โดยใช้วิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้ในส่วนที่ไม่ทราบค่าตัวแปรของเครื่องยนต์จะใช้วิธีการของจีเนติกอัลกอริทึม(Genetic Algorithm) ซึ่งเมื่อค่าของตัวแปรในระบบของเครื่องยนต์ทราบค่าตัวแปรทำให้สามารถนำมาสร้างแบบจำลองระบบเครื่องยนต์ได้ และเมื่อทราบค่าตัวแปรของระบบเครื่องยนต์ จะสามารถสร้างตัวสังเกตได้บนพื้นฐานของค่าตัวแปรของระบบที่คงที่และเป็นระบบเชิงเส้น(linear system)ได้และการประมาณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ หาได้จากตัวสังเกตการ ในการประมาณค่าแรงบิดนั้นระบบจะต้องไม่ถูกรบกวนจากแรงกระทำภายนอกเพราะจะทำให้ตัวสังเกตการประมาณค่าแรงบิดไม่ถูกต้อง ในการแก้ปัญหาผลกระทบจากแรงกระทำภายนอก ทำได้โดยสร้างตัวชดเชยแบบปรับตัวได้ (Adaptive compensator) ทำการปรับค่าแรงกระทำแล้วส่งไปให้ตัวสังเกต หากค่าความแตกต่างของระบบจริงและระบบจำลองมีค่าลดลง ตัวสังเกตการจะสามารถประมาณค่าต่างๆของระบบได้

2.การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์เบนซิน (SI Engine)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้การสร้างแบบจำลองระบบของเครื่องยนต์ อาศัยหลักการพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ กลศาสตร์การไหลและกลศาสตร์ของแข็ง โดยทั้ง 3 หลักการนี้จะมีสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น สมการเชิงซ้อนและค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แบบจำลองโดยทั่วไปประกอบด้วย

2.1 แบบจำลองเส้นทางการไหลของอากาศ (Air Path Model)

สมการอัตราการไหลมวลของอากาศไหลผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ (\dot{m}_{ao}) ได้ดังนี้

$$\dot{m}_{at} = C_t \frac{\pi}{4} D^2 \frac{P_{amb}}{\sqrt{RT_{amb}}} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} (1 - \cos \phi) PRI \quad (1)$$

PRI = ฟังก์ชันที่ผลต่อความดันในการไหลของอากาศผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ

$$PRI = \begin{cases} \sqrt{1 - \left(\frac{p_r - p_c}{1 - p_c}\right)^2} & p_r > p_c \\ 1 & p_r \leq p_c \end{cases} \quad (2)$$

โดย $p_r = \frac{P_{man}}{P_{amb}}$ และ p_c คืออัตราความดันวิกฤต

สามารถสมมติให้มีค่าเท่ากับ 0.5283

C_t = สัมประสิทธิ์อัตราการไหล

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นลิ้นปีกผีเสื้อ [m]

P_{amb} = ความดันในสถานะนิ่ง [N/m^2]

T_{amb} = อุณหภูมิในสถานะนิ่ง [K]

R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ

k = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ [$k = \frac{c_p}{c_v}$]

θ = มุมของแผ่นลิ้นปีกผีเสื้อ [rad]

P_{man} = ความดันในท่อร่วม [N/m^2]

T_{man} = อุณหภูมิในท่อร่วม [K]

ที่อากาศที่ท่อร่วมไอดีพิจารณาเป็นปริมาตรแข็งเกร็ง (rigid volume) (V_m) กับอัตราการไหลของมวลอากาศผ่านลิ้นปีกผีเสื้อเข้าไปในท่อร่วมไอดี (\dot{m}_{at}) จะได้สมการ

$$\dot{P}_{man} = \frac{RT_{man}}{V_m} \dot{m}_{at} - \frac{V_d \omega}{4\pi} \eta_v P_{man} \quad (3)$$

P_{man} = ความดันในท่อร่วม [N/m^2]

T_{man} = อุณหภูมิในท่อร่วม [K]

R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ

V_d = ปริมาตรของกระบอกสูบ

V_m = ปริมาตรของท่อร่วมไอดี

η_v = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ω_e = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ซึ่งค่า η_v จากสมการที่ (1) เป็นการยากในการหาค่าตัวแปรดังกล่าว ฉะนั้นจึงต้องย่อสมการเป็นดังสมการที่ (4)

$$\eta_v \cdot P_{man} = SP_{man} - y \quad (4)$$

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ $s < 0, y > 0$ มีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัยเช่น อัตราส่วนกำลังอัด, อุณหภูมิของอากาศในท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อนำสมการที่ (4) ไปแทนในสมการที่ (3) จะได้สมการ Air path Model ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$\dot{P}_{man} = \frac{RT_{man}}{V_m} \dot{m}_{at} - \frac{V_d s}{4\pi V_m} \omega P_{man} + \frac{V_d y}{4\pi V_m} \omega \quad (5)$$

$$\dot{P}_{man} = C_1 \dot{m}_{at} - C_2 \omega P_{man} + C_3 \omega \quad (6)$$

เมื่อค่า C_1, C_2 และ $C_3 > 0$ และเป็นค่าคงที่เพราะว่า R, T_{man}, V_d และ V_m ประมาณค่าคงที่

2.2 แบบจำลองการสร้างแรงบิด (Torque Production model)

เมื่อใช้สูตรความเร็วหนาแน่นของอัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี (\dot{m}_{ao}) จะได้สมการ (7)

$$\dot{m}_{ao} = \frac{V_d \eta_v P_{man} n}{120RT_{man}} \quad (7)$$

โดย n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่อนาที

เมื่อ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (\dot{m}_f) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี (\dot{m}_{ao}) ซึ่งเป็นระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (8)

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{ao}}{\lambda L_{th}} \quad (8)$$

\dot{m}_{ao} = อัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี

λ = อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ ($\lambda = 1$)

L_{th} = theoretical air/fuel mass ratio = 14.7

และ ค่ากำลังบ่งชี้ (Indicated power) (P_i) ซึ่งเป็นกำลังที่ได้จากเพลาช้อเหวี่ยง จากการเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หาค่าได้จากสมการที่ (9)

$$P_i = H_u \eta_i \dot{m}_f \quad (9)$$

H_u = ค่าคงที่ของพลังงานเชื้อเพลิง

η_i = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เมื่อแทนสมการ (7) และ (8) ในสมการที่ (9) จะได้แรงบิดจากการเผาไหม้ (T_{ind}) ดังสมการที่ (10)

$$T_{ind} = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} P_{man} \quad (10)$$

เมื่อเพิ่มฟังก์ชันการจุดระเบิด ($SI(\theta)$) ซึ่งเป็นข้อมูลจากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงเวลาในการจุดระเบิดก่อนมุมมองศาจุดระเบิดถึงจุดศูนย์ตาย (TDC) จะได้ฟังก์ชัน $SI(\theta)$ เพิ่มเข้ามาในสมการของแรงบิดจากการเผาไหม้ (T_{ind}) ดังสมการที่ (11)

$$T_{ind} = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} SI(\alpha) P_{man} \quad (11)$$

อย่างไรก็ตามหากมีการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงจะเกิดแรงเสียดทาน (T_f) ขึ้นในระบบ เมื่อแทนเข้าไปในสมการ (11) จะได้สมการใหม่คือ

$$T_e = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} SI(\alpha) P_{man} - T_f \quad (12)$$

T_e = ค่าแรงบิดที่มีประสิทธิภาพ

2.3 แบบจำลองการหมุนของไดนาโมมิเตอร์ (Rotation Dynamic model)

ค่าพลศาสตร์การหมุนเครื่องยนต์ได้จากกฎข้อที่ 2 ของ Newton

$$I_e \dot{\omega} = T_e - T_L - b\omega \quad (13)$$

I_e = the engine rotational inertia

T_L = Load Torque

b = viscous damping constant of the crankshaft bearing

ω = angular speed of the engine

$\dot{\omega}$ = angular acceleration of the engine

3. การออกแบบตัวสังเกตการณ์

ค่าใช้จ่ายและความซับซ้อนของการควบคุมระบบจะเพิ่มขึ้นหาก จำนวนของเซนเซอร์ที่ใช้มีมาก ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้วิธีการสังเกตโดยตัวสังเกตจะถูกออกแบบเพื่อการประมาณค่าของระบบผ่านการวัดค่าจริง ถ้าการสังเกตประมาณค่าของระบบได้เหมือนระบบจริง จะเป็นวิธีการประมาณค่าระบบโดยไม่ต้องทำการวัดค่าของระบบจริง และสมการของตัวสังเกตแสดงดังสมการที่ (14) และ (15)

$$\frac{d\hat{\omega}}{dt} = -\frac{b}{I_e} \omega + \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man} I_e} SI(\alpha) P_{man} - \frac{T_f}{I_e} - \frac{T_L}{I_e} + eG_1 \quad (14)$$

$$\frac{d\hat{P}_{man}}{dt} = c_1 \dot{m}_{at} - c_2 \omega P_{man} + c_3 \omega + eG_2 \quad (15)$$

เมื่อ G_1 และ G_2 เป็น observer gain (\wedge) คือ

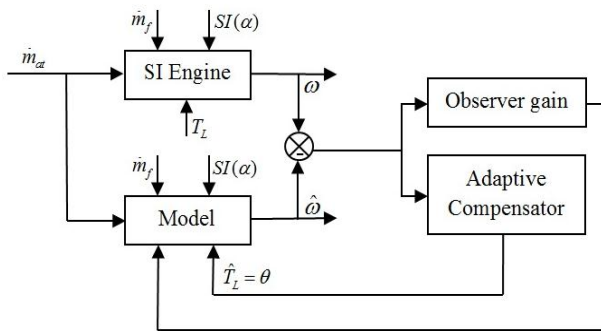
ค่าประมาณระบบ และ e คือค่าความผิดพลาดระหว่าง

ค่าความเร็วที่ได้จากการวัดและค่าความเร็วที่ได้จากการประมาณ ($e = \omega - \hat{\omega}$)

$$\frac{de}{d\theta} = -\frac{d\hat{\omega}}{d\theta} \tag{19}$$

4. การควบคุมที่ปรับตัวได้ชนิดอ้างอิงแบบจำลอง (Model reference adaptive system or MRAS)

การปรับตัวชนิดอ้างอิงแบบจำลอง มีหลักการในการทำงานคือ วิธีปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ความแตกต่างของเอาต์พุตของแบบจำลอง (model) และระบบที่ต้องการ (plant) หมดไป ระบบควบคุมประกอบด้วยแบบจำลอง ที่ได้ทำการสรรหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้ว เพื่อให้ได้การตอบสนองตามที่ต้องการและนำมาใช้เป็นแบบจำลอง ในส่วนที่สร้างขึ้นมาก็คือ กลไกที่สามารถปรับได้ ที่ทำหน้าที่ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม (Controller) เพื่อใช้ควบคุมให้ระบบหรือ plant ให้มีการตอบสนองตามตาม (Output) ของแบบจำลองตามต้องการจากรูปที่ 1 ให้เอาต์พุตของแบบจำลองเป็น $\hat{\omega}$ เอาต์พุตของระบบเป็น ω และ e เป็นความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตทั้งสอง (error) และมีพารามิเตอร์ที่ทำการปรับค่า คือ θ .



รูปที่ 1 Diagram of MRAS

การปรับค่าพารามิเตอร์ (θ) เพื่อให้ความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตของแบบจำลองและระบบที่ต้องการหมดไป โดยกำหนดให้ Loss function (J) มีค่า

$$J(\theta) = \frac{1}{2}e^2 \tag{16}$$

การปรับค่าของของตัวแปร (θ) กำหนดโดย

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \tag{17}$$

เมื่อ

$$e = \omega - \hat{\omega} \tag{18}$$

โดยที่ $-\gamma$ คือ อัตราการปรับตัว (Adaptation Gain)

5. ผลการจำลองระบบ

การจำลองระบบเครื่องยนต์และส่วนควบคุมในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ค่าตัวแปรที่ใช้จำลองแสดงดังตารางที่ 1. โดยกำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 586 rad/s

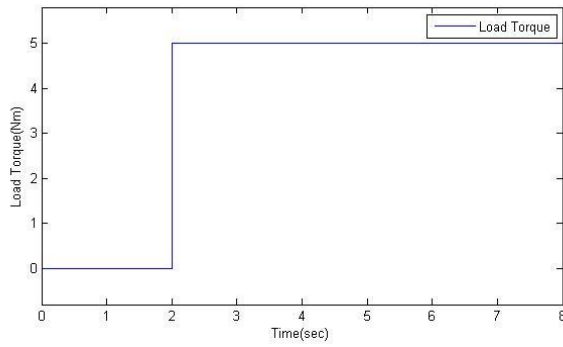
ตารางที่ 1 การประมาณค่าตัวแปรโดยวิธีจิ้นเนติกอัลกอริทึม

Parameter	Parameter estimate
b	0.007852
I_e	298.379826
X (1)	0.107603
C_1	6.983683
C_2	0.020539
C_3	0.178416
T_f	0.003931

เมื่อ X (1) คือ สมการ $\frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}}$

การจำลองครั้งนี้ จะแสดงผลของความเร็วรอบเครื่องยนต์, ความดันในท่อไอดี, และแรงบิดของเครื่องยนต์และผลการประมาณค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีการสังเกตที่ชัดเจนแบบปรับตัวได้ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของมวลอากาศไหลผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ (\dot{m}_{air}) ที่ 58 g/s โดยกำหนดเงื่อนไขการจำลองทั้งสิ้น 4 เงื่อนไขคือ

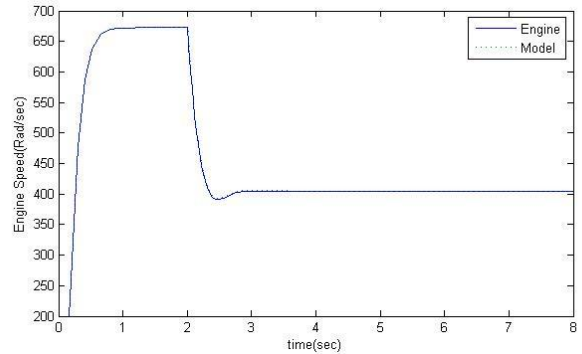
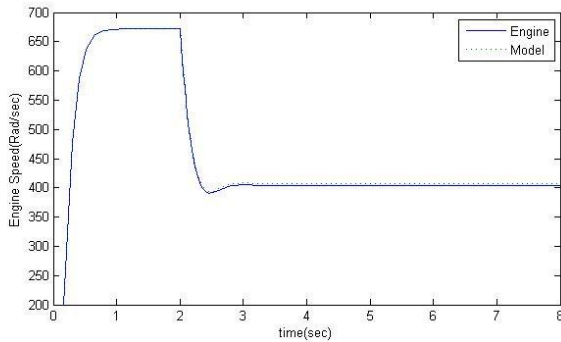
เงื่อนไขที่1: ให้โหลดเป็นแบบ step function มีค่า เท่ากับ 5Nm, ดังแสดงในรูปที่2 และการจำลองระบบโดยไม่มีตัวสังเกตที่ชัดเจนแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 3, 4 และ 5.



รูปที่ 5 ค่าความดันที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

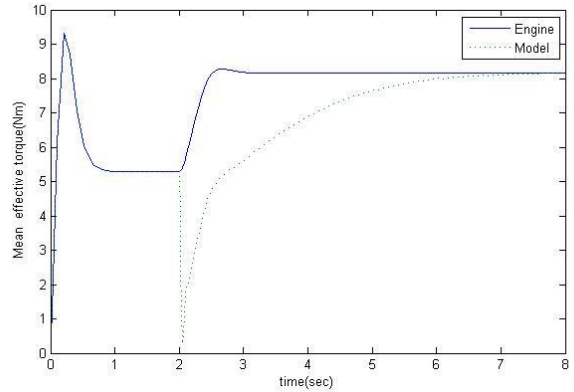
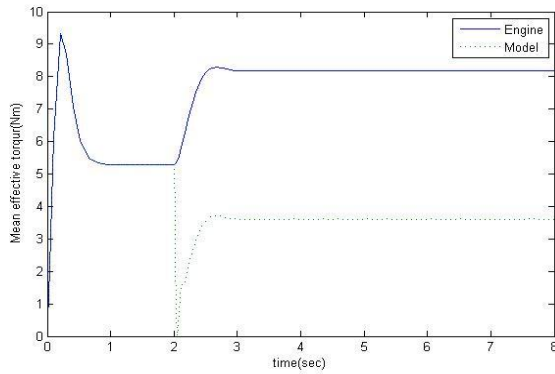
เงื่อนไขที่2: ให้โหลดเป็นแบบ step function มีค่าเท่ากับเงื่อนไขที่1และการจำลองระบบโดยมีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 6, 7 และ 8

รูปที่ 2 The function of load torque



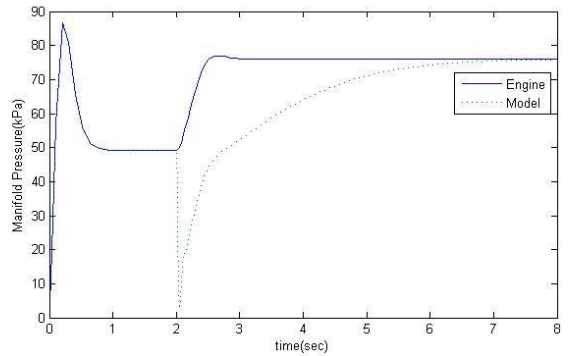
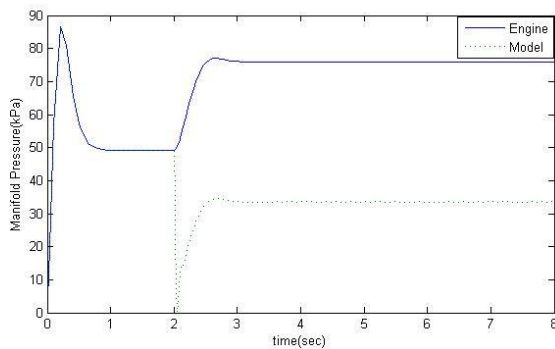
รูปที่ 6 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

รูปที่ 3 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



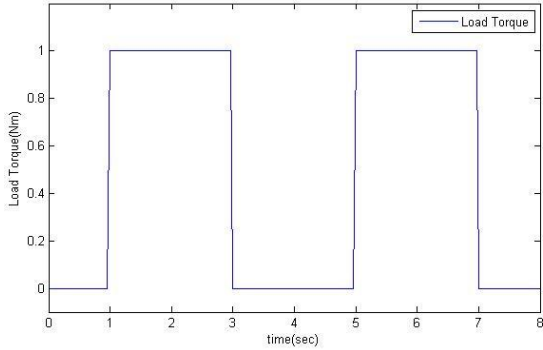
รูปที่ 4 ค่าแรงบิดที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

รูปที่ 7 ค่าแรงบิดที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

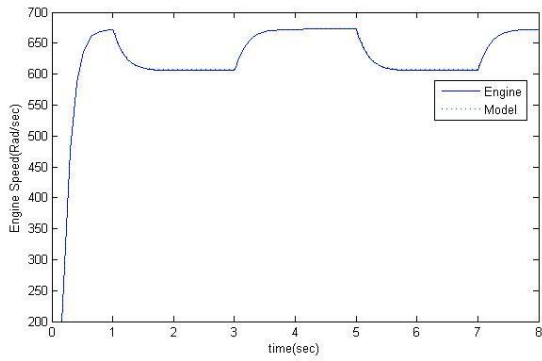


รูปที่ 8 ค่าความดันที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

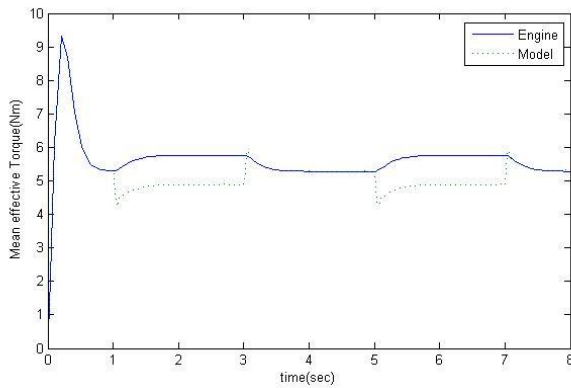
เงื่อนไขที่3: ให้โหลดเป็นแบบ Pulse มีค่า amplitude เท่ากับ 1, Periodเท่ากับ4secs,Pulse Width=50 แสดงในรูปที่9 และการจำลองระบบโดยไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 10, 11 และ 12.



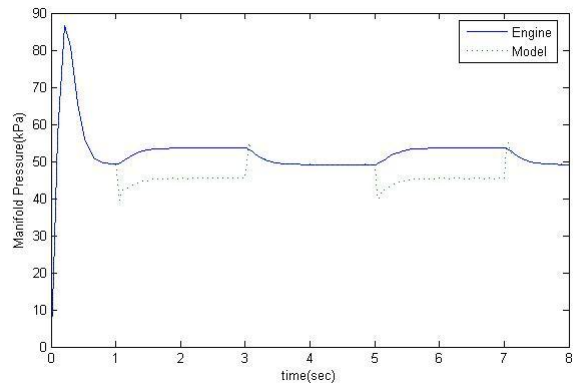
รูปที่ 9 the function of load torque



รูปที่ 10 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

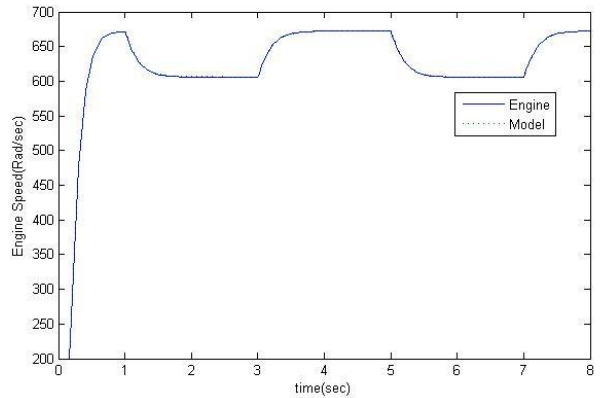


รูปที่ 11 ค่าแรงบิดที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

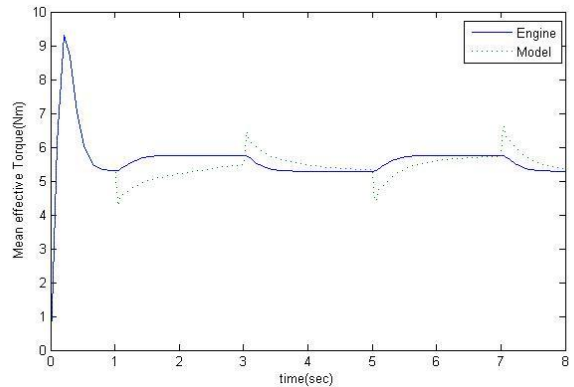


รูปที่ 12 ค่าความดันที่ไม่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

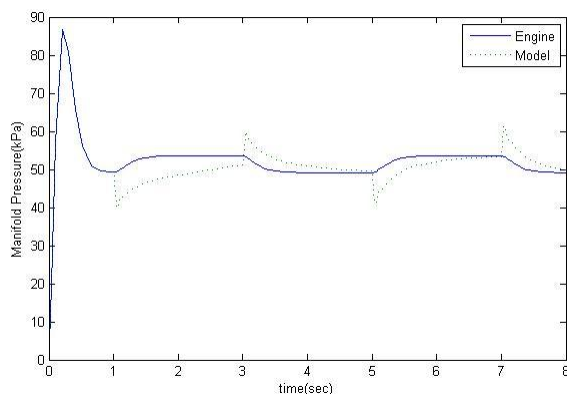
เงื่อนไขที่4: ให้โหลดเป็นแบบ Pulse เหมือนเงื่อนไขที่3 และการจำลองระบบโดยมีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้แสดงในรูปที่ 13, 14 และ 15.



รูปที่ 13 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



รูปที่ 14 ค่าแรงบิดที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้



รูปที่ 15 ค่าความดันที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้

6.สรุปผล

จากผลการจำลองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์จุดระเบิดและตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้ พบว่าค่า output ของแบบจำลองที่มีตัวสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้จะมีลักษณะการปรับค่า output ของแบบจำลองเข้าหาค่า output ของระบบจริง ซึ่งในบทความแสดงให้เห็นถึงวิธีการประมาณค่าตัวแปรของระบบที่มีการใช้เซนเซอร์จำนวนน้อย และผลการทดลองสามารถประมาณค่าตัวแปรของระบบและค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้วิธีการสังเกตที่ชดเชยแบบปรับตัวได้สามารถพัฒนาสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อแทนไดนาโมมิเตอร์ได้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] Pavel Deutsch and Ondrej Vysoky, "In-cycle thermodynamic model of linear combustion engine", Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany, October 4-6, 2006
- [2] Paolo Lino, Member, IEEE, Bruno Maione, Member, IEEE, Claudio Amorese and Sisto De Matthaes, "Modeling and Predictive Control of New Injection System for Compressed Natural Gas Engine" Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany, October 4-6, 2006
- [3] Zhi-Hu, Shang Liu, Run Pie, "Robust model predictive control of engine idle speed with disturbance observer", Proceeding of the Seventh International Conference on Mechanic Learning and Cybernetics, Kunming, 12-15 July 2008
- [4] Rui Yan, Haizhou Li, Zhao Yang Dong and Huajin Tang, "Nonlinear Control Approaches for SI Engine Model with uncertainties", Joint 48th IEEE conference on Decision and Control and 28th Chinese Control Conference Shanghai, P.R. China, December 16-18, 2009
- [5] Munan Hong, Tielong Shen, Member, IEEE, Minggao Ouyang, and Junichi Kako, "Torque Observers Design for Spark Ignition Engines With Different Intake Air Measurement Sensors", IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 19, No. 1, January 2011
- [6] Toshihiro Aono and Takehiko Kowatari, "A Throttle Control Algorithm for Improving Response Based on the Characteristics of Electronic-Throttle-Control Actuator", The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2001), pp. 546-551
- [7] P.V. Manivannan, M. Singaperumal and A. Ramesh, "Development of an Idle Speed Engine Model using In-Cylinder Pressure Data and an Idle Speed Controller for a Small Capacity Port Fuel Injected SI Engine", International Journal of Automotive Technology (2011), Vol. 12, No. 1, pp. 11-20
- [8] Chanyut Khajorntridet, and Jiraphon Srisertpol, "Torque Control for DC Servo Motor using Adaptive Load Torque Compensation," The 9th WSEAS International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING

(ICOSSE'10), Iwate, Japan, pp. 454-458, October (4-6) 2010.

- [9] Srisertpol, J. and Khajontraidet, C. "Estimation of DC Motor Variable Torque Using Adaptive Compensation" Proceedings of 21st the Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), Guilin, China, June. 17-19, 2009, pp 712-717.
- [10] Bo-Chiuan Chen, Yuh-Yih Wu, and Feng-Chi Hsieh, "Estimation of Engine Rotational Dynamics Using Kalman Filter Based on a Kinematic Model", IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 59, NO. 8, OCTOBER 2010