

طراحی کنترل پس خور / پیش خور دما بر اساس تخمین زنده حالت - کالریمتری در راکتورهای ناپیوسته

محمود پروازی نیا
عضو هیئت علمی

منوچهر نیک آذر
استادیار

مرکز تحقیقات پلیمر

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

فرزین هرمزی
کارشناس ارشد

چکیده

جهت کنترل دمای راکتور همراه کردن کنترل پیش خور یا کنترل پس خور می تواند عملکرد کنترل را توسعه دهد. به طوری که کنترل دما را بتوان برای طیف وسیعی از واکنش ها اعمال کرد. اما در الگوریتم کنترل پیش خور دما ترم حرارت زائی واکنش ظاهر می شود. از آنجایی که برای سنجش حرارت زائی واکنش سنسور مستقیمی وجود ندارد، ناچار به تخمین حرارت زائی واکنش هستیم. تخمین زنده حالت - کالریمتری می تواند تخمین مناسبی را از حرارت زائی واکنش به دست دهد. این روش تخمین دارای توانایی انطباق پذیری می باشد. به طوری که طرح کنترل پس خور / پیش خور دما بر اساس تخمین زنده حالت - کالریمتری را می توان به عنوان یک طرح عمومی کنترل برای مکانیزه کردن راکتورهای ناپیوسته مورد توجه قرار داد.

Design of a Feedback - Feedforward Temperature Control Based on Calorimetric-State Estimator in Batch Reactors

M. Nik-Azar
Assistant Professor

M. Parvazi-Nia
Lecturer

Chem. Eng. Dept. of Amirkabir Univ. of Tech.

Polymer Research Center of Ir

F. Hormozi
Chief Engineer

Abstract

In order to control the reactor temperature, combination of a FB control with a FF control can extend the control performance, so that the temperature control can be suited to various reactions.

However the reaction heat release term appears in the FF temperature control algorithm. Since there is no sensor for the direct measurement of this term, it has to be estimated. For this purpose the calorimetric state estimator can be a suitable method.

Therefore a FB/FF control design which incorporates the calorimetric state estimator is very flexible and hence can be considered as a general control design for the automating batch reactors.

مقدمه

دینامیکی و خطاهای سینتیکی است. این موضوع یعنی توانایی انطباق پذیری بالا باعث می شود که طرح کنترل پس خور/پیش خور دما همراه با تخمین زنده حالت - کالریمتری را بتوان به عنوان یک طرح عمومی کنترل جهت مکانیزه کردن راکتورهای ناپیوسته به خصوص در فرآیندهای پیچیده ای مانند فرآیندهای پلیمریزاسیون یا فرآیندهای بیولوژیکی مورد توجه قرار داد. [۸]

مشخصات فرآیند

در این تحقیق ما جهت ارائه نتایج، واکنش خاص پلیمریزاسیون سوسپانسیونی متیل متا اکریلات را در یک راکتور ۱۰۰ لیتری ناپیوسته همراه با ژاکت حرارتی مورد مطالعه قرار داده ایم. انتخاب واکنش خاص پلیمریزاسیون متیل متا اکریلات به علت سینتیک غیرخطی این واکنش انتخاب مناسبی به حساب می آید. فرآیند به صورت یک مدل شبیه سازی شده کامپیوتری با استفاده از نگارش ششم زبان برنامه نویسی Turbo pascal آماده شده که در آن مدل سینتیکی واکنش با استفاده از مدل Rass-Lauerce شبیه سازی شده، در این مدل درصد تبدیل واکنش برحسب زمان به صورت نمودارهای شکل (۱) می باشد. در ناحیه ای که درصد تبدیل با سرعت نسبت به زمان تغییر می کند، موسوم به ناحیه ژل (gel) حرارت زائی واکنش نیز به سرعت افزایش می یابد. کنترل دما در این ناحیه دارای اهمیت است، چرا که قسمت اعظم تبدیل در این ناحیه اتفاق می افتد.

اساس طراحی کنترلرهای پیشرفته امروزی بر روی مدل‌هایی از فرآیند قرار دارد که منحصرأ از معادلات پیوستگی جرم و انرژی به دست آمده اند. در داخل این مدل‌ها تنها ترمهای اساسی و با اهمیت از فرآیند در نظر گرفته شده و جزئیات مدلسازی وارد نشده است. در مقابل به چنین طراحی‌هایی خصلت خود تنظیمی داده می شود. بدین معنا که چنین طراحی‌هایی در مقابل انحراف از مقادیر حقیقی از خود واکنش مناسب نشان می دهند. این چنین حلقه‌های کنترلی همواره می توانند عملکرد جدیدی را در مقابل شرایط جدید از خود نشان دهند. تخمین زنده‌های حالت - کالریمتری نیز بر پایه چنین مدل‌هایی ساخته می شوند. این چنین تخمین زنده‌های حالتی با استفاده از یک سری سیگنال‌هایی از پارامترهایی که به راحتی قابل اندازه گیری هستند، مانند دما، فشار یا جریان، حرارت زائی واکنش داخل راکتور را تخمین می زنند.

تخمین زنده‌های حالت - کالریمتری در حقیقت مشاهده پذیر کننده بهینه (optimum observer) یا تخمین زنده بهینه حالت (optimum state estimator) هستند. در چنین تخمین زنده‌هایی بهره پس خور تخمین زنده در هر پرورد از زمان نمونه گیری به کمک روش فیلتر کالمن محاسبه می شود.

از جمله ویژگی‌های اصلی چنین روش تخمین در مقابل روش‌های دیگر تخمین حرارت زائی واکنش مانند روش on - line energy balance یا تخمین با استفاده از مدل سینتیکی، انطباق پذیری این روش در برابر خطاهای

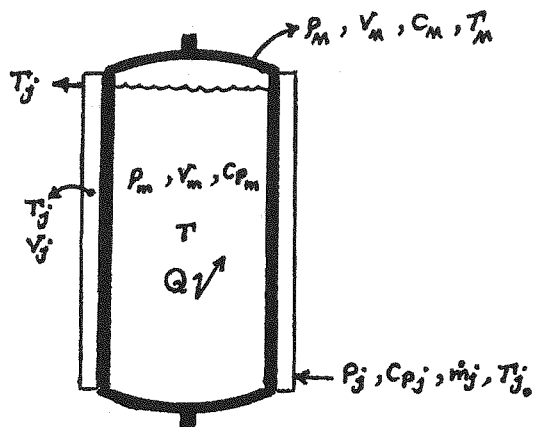
مدل پایه در طراحی کنترلر

مدلی که به عنوان پایه ای برای طراحی انتخاب شده مدل جداره فلزی راکتور در دمای ثابت است.

$$\rho_m V_m C_{pm} \frac{dT}{dt} = Q - h_i A_i (T - T_M) \quad (1)$$

$$\rho_M V_M C_M \frac{dT_M}{dt} = h_i A_i (T - T_M) - h_o A_o (T_M - T_j) \quad (2)$$

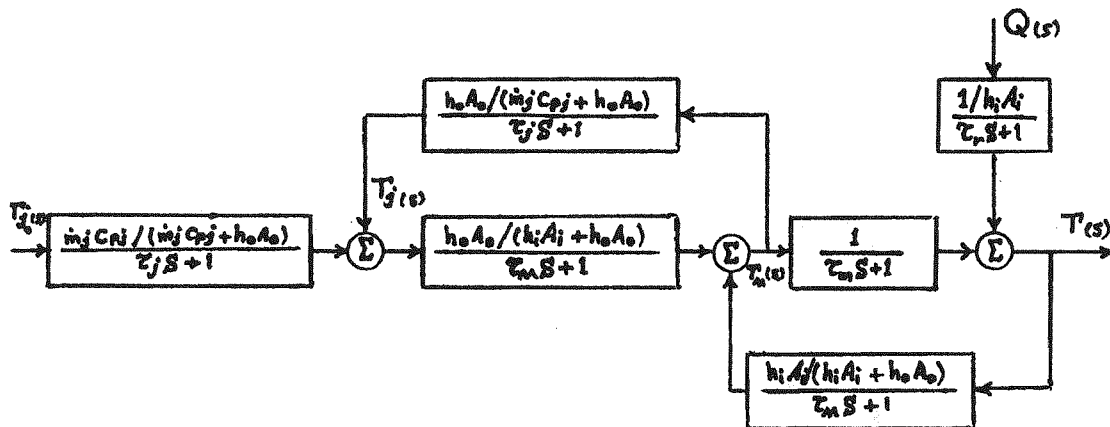
$$\rho_j V_j C_{pj} \frac{dT_j}{dt} = \dot{m}_j C_{pj} (T_{j0} - T_j) + h_o A_o (T_M - T_j) \quad (3)$$



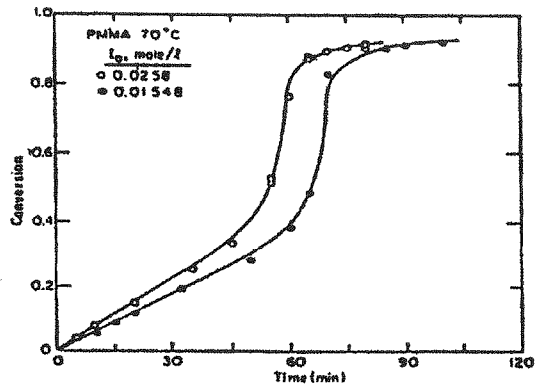
شکل (۲) راکتور ناپیوسته

با لاپلاس گیری از معادلات فوق و تعریف ثوابت زمانی τ_r و τ_M و τ_j به صورت زیر نمودار جعبه ای شکل حاصل می شود.

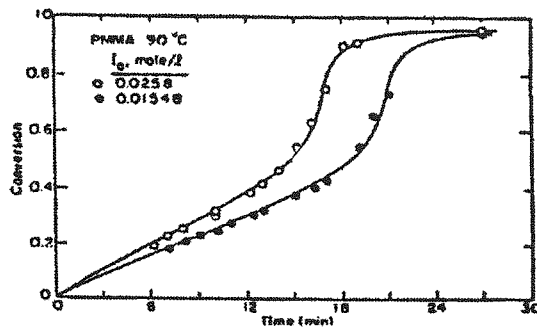
$$\tau_r = \frac{\rho_m V_m C_{pm}}{h_i A_i} \quad \tau_M = \frac{\rho_M V_M C_M}{h_i A_i + h_o A_o} \quad \tau_j = \frac{\rho_j V_j C_{pj}}{\dot{m}_j C_{pj} + h_o A_o} \quad (4)$$



شکل (۳) نمودار جعبه ای دینامیک راکتور



(الف)



(ب)

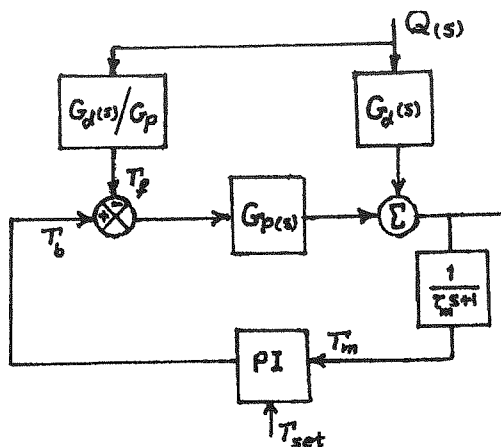
شکل (۱) میزان تبدیل بر حسب زمان در فرآیند پلیمریزاسیون متیل متاکریلات (PMMA) و حساسیت آن نسبت به غلظت آغازگر و دما

پارامتر کنترل، دمای سیال ورودی به ژاکت حرارتی است که از اختلاط سیال سرد (25°C) و سیال گرم (100°C) تأمین می شود. شدت جریان ورودی به ژاکت ثابت گرفته شده است.

تحلیل کنترل پس خور / پیش خور

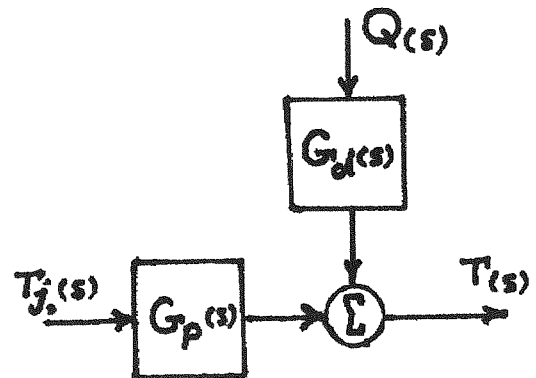
تفاوت میان کنترل پس خور و کنترل پیش خور در این است که، کنترل پس خور بعد از دریافت سیگنال های اغتشاش عملکرد کنترل را بر فرآیند اعمال می کند، ولی کنترل پیش خور با پیشگویی سیگنال اغتشاش از قبل عملکرد کنترل را بر فرآیند اعمال می کند. اگر کنترل پس خور از نوع تناسبی انتگرالی مشتقی (PID) باشد، قسمت مشتق گیر کنترل می تواند همانند کنترل پیش خور با پیش بینی عمل کنترل را انجام دهد. اما این پیش بینی که توسط قسمت مشتقگیر کنترل پس خور انجام می گیرد، یک پیش بینی عمومی است، در صورتی که پیش بینی اغتشاش که توسط کنترل پیش خور انجام می شود باتوجه به دینامیک راکتور طراحی شده و اختصاصی تر عمل می کند. بدین ترتیب مناسب تر دیدیم که کنترل پس خور را از نوع تناسبی انتگرالی انتخاب کنیم و عمل پیش بینی و کنترل را بر عهده کنترل پیش خور قرار دهیم.

مسئله دوم بعد از انتخاب نوع کنترل پس خور تنظیم کنترل پس خور است. مناسب است که تنها باتوجه به دیدگاه های دینامیکی کنترل پس خور را تنظیم کنیم. روش cohen and coon برای تنظیم کنترل پس خور تنها با توجه به دیدگاه های دینامیکی است. [۹] تابع تبدیل کنترل پیش خور $G_H(s)/G_P(s)$ است. از آنجایی که هم $G_H(s)$ و هم $G_P(s)$ توابع تبدیلی هستند که تنها باتوجه به دیدگاه های دینامیکی به دست آمده اند، تابع تبدیل کنترل پیش خور نیز مستقل از سینتیک واکنشی خاص و تنها متکی بر دینامیک راکتور است. بنابراین پیشگویی که توسط کنترل پیش خور انجام می شود تنها یک پیشگویی دینامیکی است. سیگنال کنترل پیش خور T_f به صورت رابطه زیر به دست می آید.



شکل (۵) طرح کنترل پس خور / پیش خور، τ_m ثابت زمانی سنسور، T_f سیگنال دمایی خروجی از کنترل پیش خور، T_b سیگنال دمایی خروجی از کنترل پس خور

با حذف $T_M(s)$ و $T_f(s)$ نمودار جعبه ای خلاصه شده مطابق با شکل (۴) به دست می آید. معادلات (۵) تا (۹) نیز دینامیک راکتور را در بعد لاپلاس تفسیر می کنند.



شکل (۴) نمودار جعبه ای خلاصه شده راکتور

$$T(s) = G_d(s) \cdot Q(s) + G_P(s) \cdot T_{j0}(s) \quad (5)$$

$$G_P(s) = \frac{(\tau_M s + 1) b \cdot d}{\tau_a s^4 + \tau_b s^3 + \tau_c s^2 + \tau_d s + b(a - c)} \quad (6)$$

$$G_d(s) = \frac{(\tau_M s + 1) [\tau_j \tau_M s^2 + (\tau_j + \tau_M) s + a]}{\tau_a s^4 + \tau_b s^3 + \tau_c s^2 + \tau_d s + b(a - c)} \quad (7)$$

$$a = \frac{(\dot{m}_j C_{pj} + h_o A_o) h_i A_i + h_o A_o \dot{m}_j C_{pj}}{(\dot{m}_j C_{pj} + h_o A_o) (h_i A_i + h_o A_o)} \quad (8)$$

$$b = \frac{h_o A_o}{h_i A_i + h_o A_o} \quad c = \frac{h_o A_o h_i A_i}{(\dot{m}_j C_{pj} + h_o A_o) (h_i A_i + h_o A_o)} \quad d = \frac{\dot{m}_j C_{pj}}{\dot{m}_j C_{pj} + h_o A_o}$$

$$\tau_a = \tau_r \tau_j \tau_M^2 \quad \tau_b = \tau_r \tau_M (\tau_j + \tau_M) + \tau_j \tau_M (\tau_r + \tau_M) \quad (9)$$

$$\tau_c = a \tau_r \tau_M + b \tau_j \tau_M + (\tau_r + \tau_M) (\tau_j + \tau_M)$$

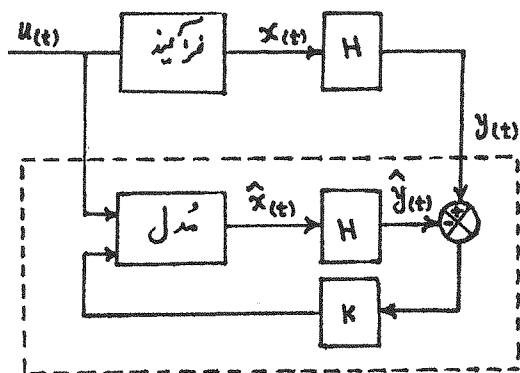
$$\tau_d = a (\tau_r + \tau_M) + b (\tau_j + \tau_M)$$

شکل (۴) نشان می دهد که از دیدگاه دینامیک راکتور حرارت زائی واکنش همانند یک اغتشاش خارجی عمل می کند.

تخمین زنده حالت - کالریتری

Calorimetric - State Estimator

مسلم است برای سنجش بسیاری از پارامترهای یک سیستم سنسورهای مستقیمی وجود ندارد. در این حالت ما با استفاده از تخمین زنده‌های حالت، تخمین مناسبی را از این پارامترهای غیرقابل سنجش مستقیم به دست می‌آوریم. در تخمین زنده‌های حالت - کالریتری ترم مورد تخمین حرارت زائی واکنش است. همانگونه که توضیح دادیم مدل به کار رفته در چنین تخمین زنده‌های حالتی، مدل ساده‌ای از فرآیند است که تنها باتوجه به روابط پیوستگی به دست آمده است. در مقابل در این نوع تخمین زنده‌های حالت، پس‌خوری از میزان انحراف تخمین از مقدار واقعی که توسط سنسورها گزارش می‌شود وجود دارد. این پس‌خور دینامیک تخمین زنده را تغییر می‌دهد. دینامیک تخمین زنده به نحوی طراحی می‌شود که از دینامیک فرآیند سریعتر باشد و این سرعت بیشتر را صرف انطباق خود یا فرآیند کند. این نوع پس‌خور خصلت خود تنظیمی را به تخمین زنده حالت می‌دهد. [۴]



شکل (۷) ساختمان تخمین زنده‌های حالت

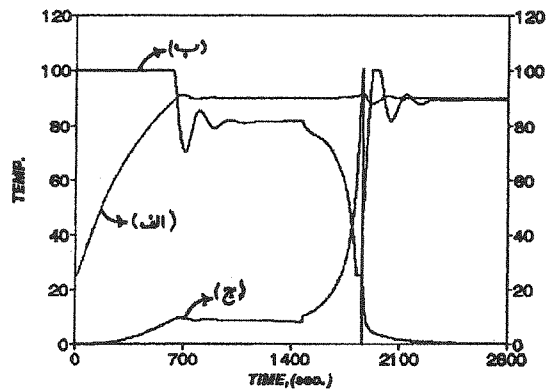
مدل به کار رفته در تخمین زنده‌های حالت را با رابطه زیر نشان می‌دهیم:

$$\hat{x}(k+1) = \Phi \hat{x}(k) + \Gamma u(k) \quad (11)$$

که در آن Φ ماتریس انتقال، X بردار حالت سیستم و $u(k)$ تابع تحریک برای سیستم است. رابطه تخمین حالت با اضافه کردن پس‌خور لازم به رابطه (۱۱) به دست خواهد آمد.

$$T_f = \frac{\tau_j \tau_M}{h_i A_i b.d} \frac{d^2 Q(t)}{dt^2} + \frac{\tau_j + \tau_M}{h_i A_i b.d} \frac{dQ(t)}{dt} + \frac{a}{h_i A_i b.d} Q(t) \quad (10)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که طرح کنترل پیش‌خور احتیاج به ترم حرارت زائی واکنش دارد. از آنجایی که هیچ سنسور مستقیمی برای تشخیص حرارت زائی واکنش وجود ندارد، لذا لازم است حرارت زائی واکنش تخمین زده شود. تخمین زنده‌های حالت - کالریتری مناسب‌ترین روش تخمین برای حرارت زائی واکنش‌ها می‌باشند. قبل از اینکه این نوع تخمین زنده‌های حالت را تشریح کنیم، به کمک مدل شبیه‌سازی شده ترم حرارت زائی واکنش را به طور مستقیم در اختیار الگوریتم کنترل پیش‌خور می‌گذاریم و عملکرد کنترل پس‌خور / پیش‌خور را در حالت تئوری مورد بررسی قرار می‌دهیم. (شکل ۶)



شکل (۶) عملکرد تئوری کنترل پس‌خور / پیش‌خور

الف) دمای راکتور

ب) دمای سیال ورودی به ژاکت (پارامتر کنترل)

ج) سیگنال دمایی کنترل پیش‌خور (T_f)

عملکرد کنترل در بین زمان‌های 1600 تا 2000 ثانیه به خاطر ظاهر شدن پدیده ژل به سرعت تغییر می‌کند. در حد تئوری کنترل پیش‌خور می‌بایست بتواند بر تمامی اغتشاشاتی که ناشی از پدیده ژل است غلبه کند، ولی وجود قیدهای فیزیکی در سیستم عمل کنترل پیش‌خور را محدود می‌کند. بدین معنا که سیگنال‌های کنترل هم‌ارز با دماهای کمتر از 25°C یا بیشتر از 100°C در حدود این دماها برش می‌خورند.

ترمهایی از ماتریس حالت X است که اندازه گیری مستقیم می شوند.

۴ - تخمین حالت در زمان جاری.

$$\hat{x} [t_k (+)] = \hat{x} [t_k (-)] + K (t_k) \{ y(t_k) - H \hat{x} [t_k (-)] \} \quad (16)$$

۵ - تخمین جاری ماتریس کواریانس $p(t_k)$.

$$P [t_k (+)] = [1 - K (t_k) H] P [t_k (-)] \quad (17)$$

در روابط بالا $p(t_k)$ ماتریس کواریانس حالت است که باتوجه به مینیم کردن واریانس تخمین خطها در معادلات ظاهر شده است و به صورت زیر تعریف می شود.

$$E \{ x(\cdot) \} = \bar{x}, \quad E \{ [x(\cdot) - \bar{x}] [x(\cdot) - \bar{x}]^T \} = P. \quad (18)$$

سایر شرایطی که در این نوع مشاهده پذیر کننده حالت می بایست مدنظر قرار داد، با روابط زیر معرفی می شود. [2, 3, 6, 7, 8]

$$\left. \begin{aligned} E \left\{ \begin{pmatrix} w(s) \\ v(s) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w^T(t) & v^T(t) \end{pmatrix} \right\} = \text{diag} [R_w, R_v] \delta(t-s) \\ E \{ w^T(t) \ v^T(t) \} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

در روابط بالا R_w و R_v ماتریس های قطری می باشند. در شبیه سازی کامپیوتری جهت محاسبه این ترمها مناسب است از رابطه زیر استفاده کنیم، چرا که در این صورت لازم به ذخیره سازی تمام اطلاعات گذشته نیست. [۵]

$$\text{Var} (x) = \overline{x^2(t)} - [\bar{x}(t)]^2 \quad (20)$$

تخمین زنده حالت - کالریمتری نیز در حقیقت یک تخمین زنده بهینه حالت است. مدلی از فرآیند که در این تخمین زنده به کار گرفته ایم، عبارت است از:

$$\hat{x} (k/k) = \Phi \hat{x} (k-1/k-1) + \Gamma u (k-1) + K [y(k) - H \Phi \hat{x} (k-1/k-1) + \Gamma u (k-1)] \quad (12)$$

در رابطه بالا مقدار تخمین $X(k/k)$ براساس اندازه گیری های زمان k ام به دست می آید. ماتریس K بهره تخمین زنده است که می بایست به طریقه مناسب انتخاب شود. اگر K به روش فیلتر کالمن محاسبه شود آنگاه به تخمین زنده حالت، تخمین زنده بهینه حالت (Optimum state estimator) یا مشاهده پذیر کننده بهینه (Optimum observer) گویند. ماتریس K در این نوع تخمین زنده های بهینه حالت در هر پریود از نمونه گیری می بایست محاسبه شود. در اینجا الگوریتم چنین تخمین زنده های بهینه را معرفی می کنیم. [۱] بهینه تخمین زنده های حالت، تخمین حالت را در دو مرحله انجام می دهند. در مرحله اول یک تخمین اولیه را فراهم می آورند که لزوماً با مقادیر حقیقی در زمان جاری up date تطابق ندارد.

این تخمین اولیه را با علامت (-) مشخص کرده ایم. در مرحله دوم با استفاده از تخمین های خام مرحله اول و اندازه گیری های انجام شده در زمان جاری تخمین حقیقی برپا می شود. این تخمین ها با علامت (+) نشان داده شده اند.

۱ - تخمین اولیه از حالت سیستم.

$$\hat{x} [t_k (-)] = \Phi \hat{x} [t_{k-1} (+)] + \Gamma u (t_{k-1}) \quad (13)$$

۲ - برآورد اولیه از ماتریس کواریانس $p(t_k)$.

$$P [t_k (-)] = \Phi P [t_{k-1} (+)] \Phi^T + R_w (t_k) \quad (14)$$

که در آن $R_w(t_k)$ کواریانس حالت اغتشاش مربوط به نویز اندازه گیری است.

۳ - محاسبه بهره فیلتر.

$$K (t_k) = P [t_k (-)] H^T (t_k) \{ H(t_k) P [t_k (-)] H^T (t_k) + R_v (t_k) \}^{-1} \quad (15)$$

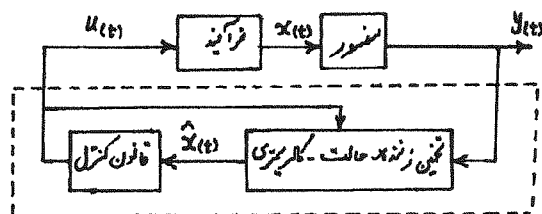
که در آن $R_v(t_k)$ کواریانس حالت اغتشاش مربوط به خطاهای مدلسازی است. ماتریس H نشان دهنده

معادله کالریمتری خارج تخمین زنده با رابطه زیر معرفی می شود.

$$Q_k = \rho_m V_m C_{pm} \frac{T_k - T_{k-1}}{\Delta t} - h_i A_i (T_k - T_{Mk}) \quad (22)$$

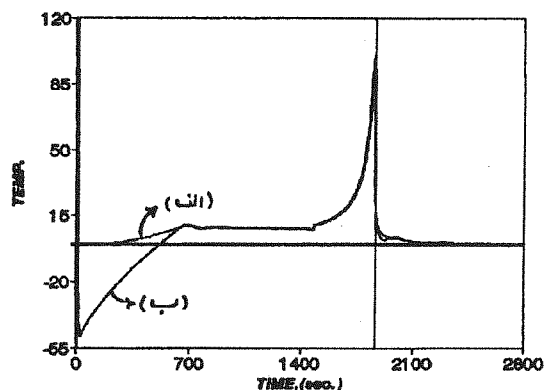
ترمهایی دمائی ظاهر شده در معادله (۲۲) از طریق تخمین زنده حالت - کالریمتری خوانده می شود.

شکل (۸) طرح ترکیب تخمین زنده حالت - کالریمتری را با قانون کنترل پس خور / پیش خور نشان می دهد. تخمین زنده حالت به طور موازی با خود فرآیند پارامترهای حالت سیستم را تخمین می زند و در اختیار قانون کنترل می گذارد و سیگنال کنترل تولید شده هم به فرآیند و هم به تخمین زنده اعمال می گردد. [۴]



شکل (۸) ترکیب تخمین زنده حالت - کالریمتری با قانون کنترل پس خور / پیش خور

شکل (۹) مقایسه ای بین تخمین حرارت زائی واکنش که توسط تخمین زنده حالت - کالریمتری در اختیار قرار داده شده با حالت حقیقی حرارت زائی واکنش نشان می دهد. (حرارت زائی به صورت دمائی پیش خور نشان داده شده است).



شکل (۹) مقایسه بین تخمین حرارت زائی واکنش با حالت حقیقی (تخمین توسط تخمین زنده حالت - کالریمتری)

(الف) حالت حقیقی حرارت زائی واکنش
(ب) تخمین حرارت زائی واکنش

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A \hat{x} + Bu \\ \hat{y} = H \hat{x} \end{cases} \quad (21)$$

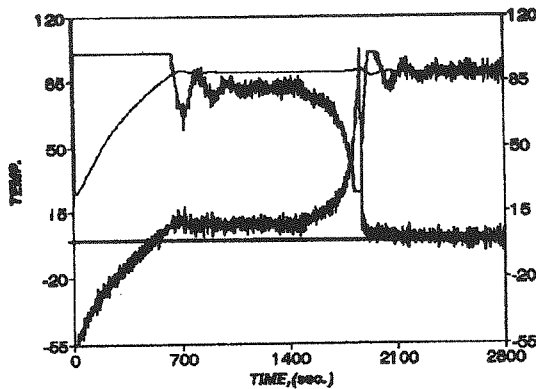
$$A = \begin{bmatrix} -\frac{h_i A_i}{\rho_m V_m C_{pm}} & \frac{h_i A_i}{\rho_m V_m C_{pm}} & 0 & \frac{1}{\rho_m V_m C_{pm}} \\ \frac{h_i A_i}{\rho_m V_m C_M} & -\frac{h_i A_i + h_o A_o}{\rho_m V_m C_M} & \frac{h_o A_o}{\rho_m V_m C_M} & 0 \\ 0 & \frac{h_o A_o}{\rho_j V_j C_{pj}} & -\frac{\dot{m}_j C_{pj} + h_o A_o}{\rho_j V_j C_{pj}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\dot{m}_j C_{pj}}{\rho_j V_j C_{pj}} \\ 0 \end{pmatrix}, H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \hat{x} = \begin{pmatrix} T \\ T_M \\ T_j \\ Q \end{pmatrix}$$

در رابطه بالا معادله

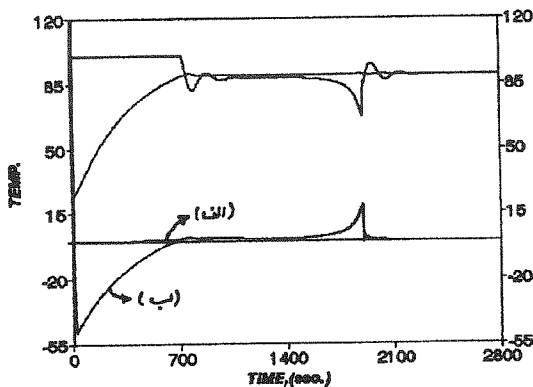
$$\frac{dQ}{dt} = 0 \quad (22)$$

ظاهر شده. این موضوع از آنجا منشأ می گیرد که در تخمین زنده های حالت - کالریمتری ترم حرارت زائی واکنش به صورت یک حالت اضافی آماری (Additional stochastic state) وارد بردار حالت می شود. مطابق رابطه فوق حرارت زائی واکنش ثابت خواهد ماند. در واقع تخمین زنده حالت - کالریمتری به طور مستقیم اقدام به تخمین حرارت زائی واکنش نمی کند، بلکه یک معادله کالریمتری خارج تخمین زنده با استفاده از تخمین ها حالت سیستم، حرارت زائی را محاسبه کرده وارد الگوریتم تخمین حالت می کند. وارد شدن ترم حرارت زائی واکنش به صورت یک حالت اضافی آماری در تخمین زنده حالت - کالریمتری باعث می شود که سیستم مشاهده پذیر کامل حالت شود، اما کنترل پذیر کامل حالت نباشد. این موضوع را می توان با یکی از نرم افزارهای کنترل مانند نرم افزار MATLAB مورد بررسی قرار داد. به کمک این نرم افزار می توان سیستم را از فرم پیوسته معادله (۲۱) به صورت گسسته تبدیل کرد و سپس با استفاده از الگوریتم تخمین زنده بهینه حالت که معرفی شده الگوریتم تخمین زنده حالت - کالریمتری را برپا ساخت. [۸]



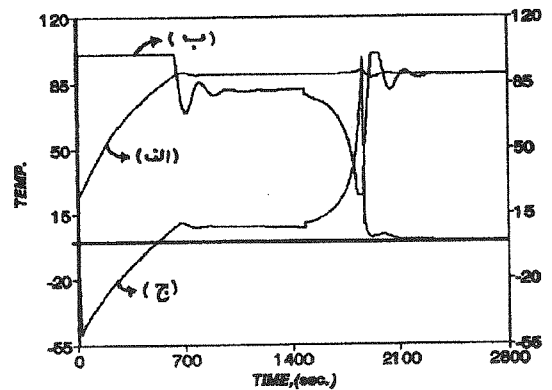
شکل (۱۱) اغتشاش در عملکرد کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری در اثر نویزهای دمایی سنسورها در حد $10^2 \times 0.5$ درجه سانتیگراد

برای ارزیابی توانایی انطباق پذیری طرح در مقابل خطاهای سینتیکی در مدل شبیه سازی شده کامپیوتری از فرآیند ۸۰ درصد حرارت زائی را کاهش دادیم. نمودار شکل (۱۲) عملکرد کنترل را در این حالت نشان می دهد. این نمودار نشان می دهد که طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری توانایی انطباق پذیری بالایی را در برابر خطاهای سینتیکی در مدل دارد. این موضوع بدین خاطر است که در حقیقت، اساس تخمین حرارت زائی در این تخمین زنده ها بر کالریمتری استوار است.



شکل (۱۲) بررسی توانایی انطباق پذیری طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری در برابر ۸۰ درصد خطا در حرارت زائی فرآیند
الف - سیگنال مناسب کنترل پیش خور در حالت تئوری
ب - سیگنال کنترل پیش خور براساس تخمین

نمودار شکل (۱۰) عملکرد کنترل طرح کنترل پس خور / پیش خور را براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری نشان می دهد. این نمودار عملکرد مناسب این طرح را در کنترل سیستم و همچنین در ناحیه ژل مشخص می کند.



شکل (۱۰) عملکرد کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری

الف - دمای راکتور

ب - دمای سیال ورودی به ژاکت حرارتی (سیگنال کنترل)

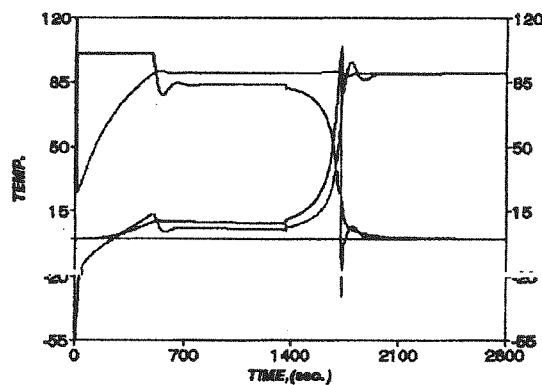
ج - سیگنال کنترل / پیش خور براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری

ارزیابی طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری

همانگونه که در ابتدا توضیح داده شد توانایی انطباق پذیری بالا در چنین طرحی می تواند این طرح کنترل را به عنوان یک طرح عمومی کنترل جهت مکانیزه کردن راکتورهای ناپیوسته مطرح کند. در اینجا ما چنین طرح کنترلی را از سه دیدگاه مورد ارزیابی قرار می دهیم. ابتدا حساسیت طرح را در مقابل اغتشاشات دمایی مورد توجه قرار خواهیم داد، سپس توانایی انطباق پذیری طرح را در برابر خطاهای سینتیکی بررسی خواهیم کرد و در نهایت توانایی انطباق پذیری طرح در برابر خطاهای دینامیکی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

مشخص شد که طرح کنترل پس خور / پیش خور براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری در حدود اغتشاشات دمایی $0.5 \times 10^3 \pm$ درجه سانتیگراد حساس می شود. نمودار شکل (۱۱)

با ۱۰ مرتبه افزایش در ضریب انتقال حرارت داخل راکتور نیز طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت کالریمتری می تواند عملکرد مناسب را از خود نشان دهد. نمودار شکل (۱۴)

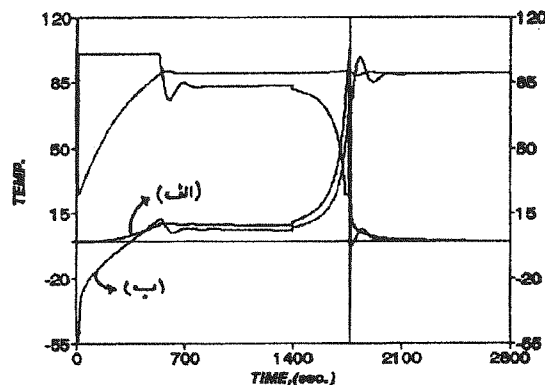


شکل (۱۴) بررسی توانایی انطباق پذیری طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری در برابر خطای دینامیکی ناشی از ۱۰ برابر کردن ضریب انتقال حرارت داخل راکتور

جمع بندی

این تحقیق، این موضوع را روشن ساخت که طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری دارای توانایی انطباق پذیری مناسبی در برابر خطاهای سینتیکی و هم در برابر خطاهای دینامیکی است. این طرح کنترل خاصیت خود تنظیمی دارد و می تواند در برابر شرایط جدید عملکرد مناسب و جدید از خود نشان دهد. طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری طرح مناسبی جهت مکانیزه کردن کنترل دما در راکتورها می باشد. این طرح می تواند برای طیف وسیعی از واکنش ها کنترل دمای مناسب را اعمال کند. وجود خاصیت خود تنظیمی در طرح باعث می شود که بتوان مدل ساده ای از فرآیند را در طراحی به کار برد. این مدل ساده که تنها از معادلات پیوستگی جرم و انرژی به دست می آید، عمل طراحی را آسان تر می کند. این طرح به طور خودکار در مقابل خطاهای مدلسازی عملکرد کنترل را اصلاح می کند.

در طراحی یک کنترلر عمومی ظاهر شدن خطا در حدس ضریب انتقال حرارت داخل راکتور اجتناب ناپذیر است. در حقیقت عدم دقت در پیش بینی ضریب انتقال حرارت داخل راکتور یک خطای دینامیکی وارد مدل پایه طراحی می کند. در اینجا ما با تغییر ضریب انتقال حرارت داخل راکتور در داخل مدل شبیه سازی شده کامپیوتری از فرآیند توانایی انطباق پذیری طرح را در برابر خطاهای دینامیکی مورد توجه قرار دادیم. در نمودار شکل (۱۳) ضریب انتقال حرارت داخل راکتور ۲/۸ مرتبه افزایش داده شده است. همانطوری که نمودار نشان می دهد، در این حالت انطباق پذیری مناسب وجود دارد و عملکرد کنترل به طور مناسب اعمال می شود. روش تخمین حرارت زائی با استفاده از روش On _ line energy balance چنین خطای دینامیکی می تواند روش را بی اعتبار کند.



شکل (۱۴) بررسی توانایی انطباق پذیری طرح کنترل پس خور / پیش خور دما براساس تخمین زنده حالت - کالریمتری در برابر خطای دینامیکی ناشی از ۲/۸ برابر کردن ضریب انتقال حرارت داخل راکتور

الف - سیگنال مناسب کنترل پیش خور

ب - سیگنال کنترل پیش خور براساس تخمین

- [1] Astrom, K. J.; Computer-Controlled Systems; Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N J (1990).
- [2] Dimitratos, J.; Georgakis, C. ; E1-Aasser, M. ; Kelin, A. ; "Dynamic Modelling and State Estimation for an Emulsion Copolymerization Reactor"; comput. Chem. Eng.; Vol. 13; No. 1/2; PP. 21-33 (1989).
- [3] Dimitratos, J.; Georgakis, C. ; E1-Aasser, M.; Klein, A.; "An Experimental Study of Adaptive Kalman Filtering in Emulsion Copolymerization"; Chem. Eng. Sci.; Vol. 46; No. 12; pp. 3203-3218 (1991).
- [4] Franklin, G. F. ; David Powell, J. ; Emami Naeini, A.; Feedback Control of Dynamic System ; Addison-Wesley, Co.; (1986).
- [5] Friedland, B.; Control System Design; Mc Graw-Hill, Co.; (1987).
- [6] Jo, J. H.; Bamkoff, S.G.; "Digital Monitoring and Estimation of Polymerization Reactors"; AIChE, J. ; Vol. 22; No. 2 ; pp. 361-369 (1976).
- [7] Mac Gregor , J. F. ; "Control of Polymerization Processes"; Sixth Annual Intensive Short Course, 16 June 3-7; Porto Carrus, Greece (1991).
- [8] Schuler, H. ; Schmidt, Ch. U.; "Calorimetric - State Estimators for Chemical Diagnosis and Control: Review of Methods and Applications"; Chem. Eng. Sci. ; Vol. 47; No. 4; pp. 899-915 (1992).
- [9] Stephanopoulos, G. ; Chemical Process Control; Prentice - Hall Englewood Cliffs, N J (1984).