کنترل کننده فازی وفقی برای کنترل دمای راکتور واکنش های شیمیایی اگزوترمیک

بهداد ناظم رعایا ، مدیر گروه پژوهشی برق-کنترل ، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

(behdadnazem@acecr.ir)

مسعود عسکری ، استادیار- جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

(m_askari@acecr.ir)

چکیده:

در یک طرح پژوهشی از یک الگوریتم کنترل کننده فازی وفقی برای کنترل دمای یک راکتور واکنش های شیمیایی اگزوترمیک استفاده شد. راکتور مذکور از نوع batch و به ظرفیت حدود ده تن مواد شیمیایی است که واکنشی که در آن اتفاق می افتد ، یک واکنش گرما زا و توام با افزایش غیر خطی دما است.

برای پیاده سازی الگوریتم کنترل از کامپیوتر و کارت های مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتیال به آنالوگ استفاده شد. تجیزات ابزار دقیق شامل سنسور های حرارتی ، فلومتر و شیر برقی آنالوگ بوده است. مواد شیمیایی درون راکتور بوسیله یک پمپ در لوله های یک مبدل حرارتی به چرخش در آمده و کنترل کننده با تغییر فلوی آب سرد در پوسته مبدل حرارتی ، مواد را خنک نموده تا دمای مورد نظر اپراتور (حدود $170\ ^{\circ}C$) تثبیت گردد.

الگوریتم کنترل از کارایی خوبی برخوردار بود و با کنرل میزان دبی آب سرد در پوسته مبدل حرارتی، دمای راکتور بخوبی تثبیت گردید.

کلیدواژه‌ها: کنترل کننده فازی وفقی، کنترل کننده به روش مستقیم ، توابع عضویت، توابع پایه‌ی فازی، واکنش های اگزوترمیک،

1-مقدمه:

قسمت اصلی پلنت شامل یک راکتور batch با حجم تقریبی 10 متر مکعب است. برای کنترل دمای راکتور از یک مبدل حرارتی از نوع پوسته و لوله استفاده شده است. با کنترل فلوی جریان آب خنک در پوسته مبدل حرارتی دمای راکتور کنترل می شود. آب گرم خروجی پوسته مبدل حرارتی در یک مخزن دیگر خنک می شود.

Archive of SID

www.SID.ir

در ابتدا راکتور با مواد اولیه شارژ می‌شود. سپس مواد شیمیایی درون راکتور بوسیله پمپ گریز از مرکز p1 ویک مسیر لوله به قطر شش اینچ از طریق لوله‌های داخلی مبدل به گردش در می‌آیند. در اینحالت پمپ p2 که آب خنک کننده را در پوسته مبدل حرارتی به جریان می‌اندازد خاموش است. در ابتدا واکنش گرما گیر است مواد درون راکتور برای شروع واکنش به انرژی فعال سازی نیاز دارند ، برای این منظور راکتور بوسیله عبور بخار آب از طریق لوله های دور راکتور گرم می‌شود. با اعمال انرژی فعالسازی واکنش آغاز شده و درجه حرارت شروع به افزایش می‌نماید .در این حالت واکنش به حالت گرما زا تبدیل می شود

با شروع واکنش دیگر به انرژی فعال‌سازی نیازی نیست و بخار آب قطع می‌شود. چون واکنش گرمازا است درجه حرارت واکنش بالا می رود. لذا باید درجه حرارت راکتور کنترل شود. در این حالت پمپ p2 روشن می‌شود .کنترل کننده باید فلوی آب سرد در پوسته مبدل حرارتی را طوری کنترل نماید که درجه حرارت مواد شیمیایی خروجی از مبدل حرارتی روی مقدار مورد نظر اپراتور (حدود $170\ ^{\circ}C$) ثابت نگهداشته شود. افزایش دمای واکنش غیرخطی، متغیر با زمان و وابسته به کمیت و نوع مواد شیمیایی درون راکتور است.

در این فرایند set point ، دمای مورد نظر اپراتور ، سیگنال فیدبک درجه حرارت مواد شیمیایی خروجی از راکتور و سیگنال کنترل فرمانی است که فلوی آب سرد را کنترل می کند. لگوریتم کنترل باید میزان باز یا بسته بودن شیربرقی کنترل‌پذیر را محاسبه و از طریق کارت خروجی آنالوگ به شیر برقی اعمال نماید.

2- تجهیزات ابزار دقیق :

تجهیزات ابزار دقیق شامل موارد زیر است:

چهار عدد سنسور حرارتی از نوع PT100 و ترانسمیترهای 4-2mA

یک عدد شیر برقی کنترل پذیر بصورت پیوسته مدل 6223 ساخت شرکت Burkert که باید دبی آب سرد را در پوسته مبدل حرارتی تنظیم نماید.

یک عدد فلومتر پالسی و مدار مبدل فرکانس به ولتاژ

سنسورهای حرارتی

سنسورهای حرارتی PT1 تا PT4 که موقعیت نصب آنها در شکل (5-1) نشان داده شده است اندازه گیری‌های زیر را انجام می‌دهند:

اندازه‌گیری درجه حرارت آب سرد ورودی به مبدل حرارتی :PT1

اندازه‌گیری درجه حرارت آب گرم شده خروجی از مبدل حرارتی :PT2

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌گیری درجه حرارت مواد شیمیایی گرم ورودی به مبدل حرارتی :PT3

اندازه‌گیری درجه حرارت مواد شیمیایی خنک کننده خروجی از مبدل حرارتی :PT4

سنسور اصلی که مدار فرمان براساس آن تصمیم گیری و شیربرقی را کنترل می‌نماید PT4 است و اطلاعات سنسورهای PT3,PT2,PT1 وفلومتر جنبه نظارتی و جمع آوری اطلاعات دارد.

تنظیم میزان آب ورودی به مبدل حرارتی جهت خنک کردن مواد شیمیایی داخل راکتو بوسیله یک شیر برقی کنترل پذیر پیوسته به قطر یک اینچ انجام می‌شود. این شیر با جریان 4-2mA که توسط کارت مبدل دیجیتال به آنالوگ ایجاد می‌شود کنترل می‌شود

یک فلومتر1/5 اینچ از نوع چرخ‌دوار میزان آب سرد خنک کننده که وارد مبدل حرارتی می‌شود را اندازه‌گیری می نماید.

برای پیاده سازی کنترل کننده از یک دستگاه کامپیوتر و کارتهای ورودی- خروجی آنالوگ ایزوله شده استفاده شد

3-سخت افزار:

برای پیاده‌سازی کنترل کننده از یک دستگاه کامپیوتر مجهز به کارت ورودی آنالوگ (PCI 1713) وکارت خروجی آنالوگ (PCI 1720) استفاده شد. دمای آب ورودی و خروجی مبدل حرارتی و دمای مواد شیمیای ورودی و خروجی راکتور به وسیله چهار عدد سنسور از نوع PT100 اندازه‌گیری و به همراه اطلاعات مربوط به میزان فلوی آب ورودی به مبدل حرارتی که توسط یک فلومتر 1/5 اینچ اندازه‌گیری می‌شود از طریق کارت PCI 1713 به صورت اطلاعات دیجیتال 12 بیتی در اختیار نرم‌افزار قرار گرفت. فرکانس نمونه‌برداری برابر 10 هرتز انتخاب و برای حذف نویز از فیلتر پایین گذر نرم‌افزاری استفاده گردید.

با استفاده از کارت P CI 1713 ساخت شرکت ADVANTECH که یک مبدل A/D است.

4-الگوریتم کنترل

از الگوریتم کنترل کننده فازی وفقی استفاده شد. این نوع کنترل کننده، کنترل کننده به روش مستقیم است که سیگنال کنترل مستقیما تقریب فازی زده شده و به پلنت اعمال می‌شود. بنابراین نیازی به دانستن تابع انتقال پروسس و یا شناسایی و تخمین ضرایب معادلات دینامیک سیستم نیست.

این الگوریتم برمبنای انتخاب و تثبیت مراکز ثقل توابع عضویت ورودی و بهینه سازی مراکز ثقل توابع عضویت خروجی قوانین در پایگاه قوانین فازی است. در شروع می‌توان مراکز ثقل توابع عضویت خروجی را بصورت تصادفی درنظر گرفت در اینحالت کنترل کننده فازی وفقی مانند یک کنترل کننده وفقی کلاسیک عمل می‌نماید و با تنظیم مراکز ثقل توابع

Archive of SID

www.SID.ir

عضویت، خروجی پلنت را در مسیر مورد نظر هدایت می‌کند. چنانچه به کمک تجربیات اپراتور خبره تعدادی یا همه مراکز ثقل توابع عضویت خروجی از ابتدا در مجموعه قوانین فازی تعیین شود، سیستم فازی وفقی بسیار سریعتر وفق یافته و خروجی سیستم دچار بالازدگی یا پایین زدگی کمتری می‌شود.

این کنترل کننده به واسطه ماهیت وفقی می‌تواند درجه حرارت راکتور واکنش های هـای گرمـازا بـا رفتـار گرمـازایی متفاوت را کنترل نماید. این الگوریتم میزان باز شدن شیربرقی و در نتیجه مقدار فلوی آب خنک کننده ورودی بـه مبـدل حرارتی را طوری محاسبه می‌نماید که درجه حرارت مواد شیمیایی خروجی از مبدل حرارتـی برابـر بـا دمـای مـورد نظـر اپراتور باشد. خروجی نهایی بصورت جریان 4-20mA از طریق کارت مبدل دیجیتال به آنالوگ به شیربرقی کنتـرل‌پـذیر اعمال می‌شود

5-تئوری مبنای طرح:

اگر توابع عضویت ورودی یعنی $\mu_{F_i}\, l(x_i)$ ها را از ابتدا انتخاب و پارامترهای آن را تثبیت نماییم و مراکز ثقـل توابـع عضویت خروجی یعنی $\bar{y}^l$ را به عنوان پارامترهای قابل تنظیم در نظر بگیریم، سیستم منطقـی فـازی بـه صـورت زیـر قابل بیان خواهد بود [1]و [2] و[3]:

$$y(\underline{x}) = \underline{\theta}^T\, \underline{\xi}\,(\underline{x})$$

که $\underline{\theta} = [\bar{y}^1, \dots, \bar{y}^M]^T$ یک بردار پارامتری است و $\underline{\xi}(\underline{x}) = [\xi^1(\underline{x}), \dots, \xi^M(\underline{x})]^T$ یک بـردار رگرسـیو اسـت کـه رگرسورآن $\xi^l(\underline{x})$ است. $\xi^l(\underline{x})$ تابع پایه‌ی فازی نامیده می‌شود که به صورت زیر تعریف شده است:

$$\xi^l(\underline{x}) = \frac{\prod_{i=1}^{n}\ \mu_F l_i\,(x_i)}{\sum_{l=1}^{M}\left(\prod_{i=1}^{n}\ \mu_F l_i\,(x_i)\right)}$$

به $\xi^l(\underline{x})$ گسترش توابع پایه‌ی فازی و یا شبکه‌ی توابع پایه‌ی فازی گفته می‌شود. جمـع جبـری توابـع پایـه‌ی فـازی همواره برابر یک است، $\sum_{l=1}^{M}\xi^l(\underline{x}) = 1$ گسترش توابع پایه‌ی فازی ترکیب خطـی توابـع پایـه‌ی فـازی اسـت و θ^j ، j امین ضریب ترکیب خطی است. این خطی بودن برای بکارگیری قانون وفق θ با استفاده از تابع لیاپانوف که بعـداً تشـریح خواهد شد لازم است.

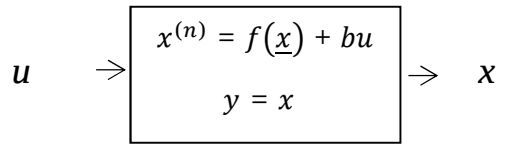
$$\underline{\theta} = (\theta_n^T, \theta_{n-1}^T, \dots, \theta_0)^T$$

Archive of SID

www.SID.ir

هنگامی که توابع عضویت ورودی به صورت گاوسی انتخاب شوند$\mu_{F_i^l}(x_i)$ برابر خواهد بود با:

$$\mu_{F_i^l}(x_i) = exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{x_i - \overline{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right)$$



پلنت غیرخطی

$$x^{(n)} = f\left(x, x', \dots, x^{(n-1)}\right) + bu \quad ,$$
$$y = x$$

که f یک تابع نامشخص پیوسته، b یک مثبت نامشخص و $u\epsilon R$ ورودی و $y\epsilon R$ خروجی سیستم تحت کنترل است.

فرض می‌کنیم بردار حالت $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T = \left[x, x', \dots, x^{(n-1)}\right]^T \in R^n$ برادار متغیرهای معلوم و قابل اندازه‌گیری باشد. خروجی y=x باید سیگنال مرجع $y_m(t)$ را تحت این قید که تمام سیگنال‌های به کار گرفته شده محدود باشند را دنبال کند.

می‌خواهیم یک سیگنال کنترل $u = u(\underline{x}|\underline{\theta})$ (براساس سیستم منطقی فازی) و یک قانون وفق برای تنظیم‌بردار پارامتری $\underline{\theta}$ (بردار مراکز ثقل توابع عضویت خروجی) تعیین کنیم.

$$u_c(\underline{x}|\underline{\theta}) = \underline{\theta}^T \underline{\xi}(\underline{x})$$
$$u = u_c(\underline{x}|\underline{\theta})$$

بردار مقادیر اولیه مراکز ثقل توابع عضویت خروجی $\underline{\theta}(0) = [y^1, \dots, y^n]^T$ به صورت تصادفی و یا با استفاده از تجربیات اشخاص خبره انتخاب می‌شود.

$$V = \frac{1}{2}\underline{e}^T P \underline{e} + \frac{b}{2y}\underline{\emptyset}^T \underline{\emptyset}$$

Archive of SID
www.SID.ir

γ یک ثابت مثبت و P یک ماتریس متقارن مثبت معین است که در رابطه لیاپانوف زیر صدق می‌کند.

$$A_C^T P + P A_c = -Q$$

که ماتریس A_c و بردار $\underline{b_c}$ عبارتند از:

$$A_c = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -k_n & -k_{n-1} & \dots & \dots & \dots & -k_1 \end{bmatrix} \qquad \underline{b_c} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \\ b \end{bmatrix}$$

اگر $\underline{p_n}$ آخرین ستون P باشد، قانون وفق به صورت زیر خواهد بود .

$$\underline{\theta'} = y\underline{e}^T \underline{P_n} \underline{\xi}(\underline{x})$$

و در هر زمان نمونه برداری می توان سیگنال کنترل را بر اساس رابطه زیر محاسبه به محدوده ولتاژ 0-5 ولت تبدیل و به پلنت اعمال نمود :

$$u_c(\underline{x}|\underline{\theta}) = \underline{\theta}^T \underline{\xi}(\underline{x})$$

6-نتیجه گیری:

درصورتیکه واکنش‌ها محدود و مشخص باشند، تخمین پارامترهای سیستم و مدلسازی آن و طراحی کنترل کننده به روش‌های متداول امکان‌پذیر خواهد بود. ولی چنانچه تولید یک محصول جدی در دستور کار قرار گیرد نیاز به تخمین پارامترهای واکنش جدید و تجدید نظر در طراحی کنترل کننده خواهد بود. اگر چه در کنترل کنندهای فازی وفقی به روش غیرمستقیم تخمین پارامترهای فرآیند حین کار انجام می‌شود. اما چون تجربیات اپراتور بیشتر به صورت دانش مربوط به کنترل کنده است تا دانش مربوط به پارامترها و یا معاملات سیستم، کنترل کننده به روش مستقیم مناسب-ترین گزینه برای اجرای طرح تشخیص داده شد.

کنترل کننده فازی وفقی بر روی یک راکتور حاوی مواد شیمیایی که با یکدیگر واکنش گرمازا انجام می‌دادند نصب گردید درجه حرارت مطلوب از نظر اپراتور $170^{\circ}C$ تعیین گردید. تثبیت درجه حرارت به خوبی انجام شد. این کنترل کننده به واسطه ماهیت وفقی می‌تواند درجه حرارت راکتورهای گرمازا با رفتار گرمازایی متفاوت کنترل نماید.

6-مراجع

Archive of SID

www.SID.ir

[1] Wang. L. X. and Mendel, J. M. “Fuzzy Basis Functions, Universal Approximation and Orthogonal Least Square Learning” , IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 3 pp. 807-813 ,Sept. 1992.

[2] Wang. L. X. “Stable Adaptive Fuzzy Control of Nonlinear Systems” IEEE Trans. Fuzzy Syst. Vol. 1 No. 2 , pp. 146-155 , May 1993

[3] تشنه لب ،م. صفار پور ،ن ،. سیستمهای فازی و کنترل ، نشر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، 1378

Archive of SID

www.SID.ir