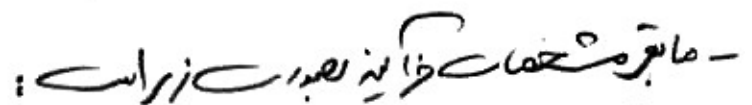
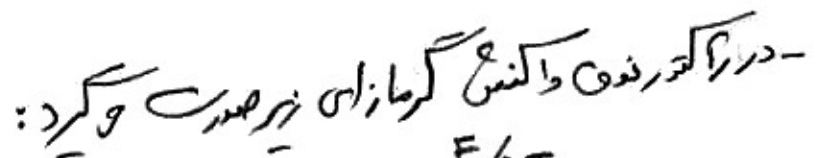


فوائده نمان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید :



$(\Delta V)$

- سنسور دما در محدوده 550 تا 750 در رانگین کالیبره شده و دارای دقت کمتر از 2.0 min باشد.
- سنسور غلظت در محدوده 0 تا 0.5 ( $\frac{\text{lb mole}}{\text{ft}^3}$ ) کالیبره شده و دارای زمان پاسخ 3.0 min باشد.
- سیکل کنترل دما از زمان خطر و دینامیک ناچیز، حداکثر ظرفیت 11 اولت شدت است 10 PSI باشد.
- مقادیر نامرئی یا صفر نیز عبارتند از:

$$\begin{cases} \bar{T}_1 = 635^\circ R, \bar{C}_{A1} = 0.6 \frac{\text{lb mole}}{\text{ft}^3}, \bar{T}_4 = 540^\circ R \\ \bar{m}_1 = 25\%, \bar{m}_2 = 75\% \end{cases}$$

- فرضیات مدل از V:

- 1- سیل دفلد را کتور و سیل دفلد را کت کاملاً مخلوط شده (well mixing)
- 2- دیواره را کت را کتور کاملاً عایق بهر شده است.
- 3- مقاومت و تجمع حرارت دفلد دیواره را کتور ناچیز است ( $U = \frac{1}{\frac{1}{h_A} + \frac{1}{h_C}}$ )
- 4- حجم سیل دفلد را کتور (V) و در آن (V<sub>C</sub>) ثابت است.
- 5- ظرفیت حرارت و داشیه سیل دفلد را کتور (ρ و Cp) و سیل دفلد را کت (ρ<sub>C</sub> و Cp<sub>C</sub>) ثابت است.

الف) با توجه به فرضیات فوق مدل ریاضی حاکم بر دینامیک را به دست آورده و فرایند را بر روی مدل مذکور شبیه سازی کنید.

ب) یک کت کنترل کته 92 برابر کت کنترل دما را کتور با تغییر دادن بهر سیل خنک کته، با توجه به روش زیر طراحی کنید:

1- استفاده از روش بار بازخورد بهر در کتور تنظیم RIMC و SIMC و TL

2- استفاده از روش مدار بهر بهر در کتور تنظیم RIMC و SIMC و TL بهر مدار (سیستم های کنترل طاقه) را بهر مقایسه کنید.

الف) تعیین معادلات خاتم بر فرآیند: با توجه به ثابت بودن دانه و حجم، در هر واحد در هر واحد  
 می باشد و نیاز به موازنه جرم کم نیست. با توجه به موازنه جرم جزئی و انرژی داریم:

موازنه جرم A :  $V \frac{dC_A(t)}{dt} = F(t)[C_{A_i}(t) - C_A(t)] - r_A(t)V$  (1)

دفعه را کمتر :  $r_A(t) = k_0 \exp\left[\frac{-E}{RT(t)}\right] C_A(t)^2$

موازنه انرژی در ظرف :  $\rho C_p V \frac{dT(t)}{dt} = \rho C_p F(t)[T_i(t) - T(t)] - \Delta H r_A(t)V - UA[T(t) - T_c(t)]$  (2)

موازنه انرژی در :  $\rho_c C_{p_c} V_c \frac{dT_c(t)}{dt} = \rho_c C_{p_c} F_c(t)[T_{c_i}(t) - T_c(t)] + UA[T(t) - T_c(t)]$  (3)

موازنه انرژی در :  $\tau_m \frac{dT_m(t)}{dt} + T_m(t) = \left(\frac{T(t) - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}\right) \times 100$  (4)

موازنه انرژی در :  $C_{A_m}(t) = \left(\frac{C_A(t-t_0) - C_{A_{min}}}{C_{A_{max}} - C_{A_{min}}}\right) \times 100$  (5)

موازنه انرژی در :  $F(t) = C_{V_{1max}} \left(\frac{m_1(t)}{100}\right) \sqrt{\frac{\Delta P_{V_1}}{f/\rho_w}} \times \frac{1}{7.48}$  (6)

موازنه انرژی در :  $F_c(t) = C_{V_{2max}} \left(1 - \frac{m_2(t)}{100}\right) \sqrt{\Delta P_{V_2}} \times \frac{1}{7.48}$  (7)

معادلات فوق معادلات و فرمول ها از جدول 0 در حال به دست آوردن حاصل و گرد:

$\bar{m}_1 = 25\% \Rightarrow \bar{F} = 1.2383 \text{ ft}^3/\text{min}$   
 $\bar{m}_2 = 75\% \Rightarrow \bar{F}_c = 1.1626 \text{ ft}^3/\text{min}$

(59)

$\bar{C}_A = 0.23091 \text{ lbmol/ft}^3$   
 $\bar{T} = 667.451^\circ \text{R}$   
 $\bar{T}_c = 588.792^\circ \text{R}$   
 $\bar{T}_m = 58.73\%$   
 $\bar{C}_{A_m} = 46.18\%$

طراحی مدل بر اساس معادلات (۱) تا (۷) در محیط نرم افزار SIMULINK شبیه ساز شده است. فایل شبیه ساز با نام  $\langle \text{Reactor\_open.slx} \rangle$  ذخیره شده و با اجرای آن (RUN) می توان فایل مذکور را اجرا کرد.  $\langle \text{Reactor\_model.m} \rangle$  نیاز ربات (s-function).

(ب) در این قسمت طراحی کنترل کننده PI برای کنترل دما را کرده ایم. استفاده از دینامیک خنک کننده (m2) صورت گرفته است. بدین منظور از خروجی تانک را به مدار باز و مدار بسته استفاده شده است. ۱- استفاده از تانک را به مدار باز یا مخفی بدین منظور در حالت پایا یک تغییر می آید. اندازه

$\pm 1\%$  در  $m_2$  اعمال گرایم و مخفی مدار باز را اندازه گیری می کند. ثبت شده است. نمودار مدار باز حاصل در شکل  $\langle \text{Reactor\_open.fig} \rangle$  نشان داده شده است. به استفاده از Fit3 مدل FOPDT برای فرآیند مورد نظر حاصل شده است:

$$\begin{cases} t_1 = 6.46 \text{ min} \\ t_2 = 11.27 \text{ min} \end{cases} \rightarrow G_p(s) = \frac{0.59 e^{-4.1s}}{7.2s + 1} \quad \checkmark$$

$$\phi = -40 \pm \omega_u - \tan^{-1}(7.2 \omega_u) = -\pi \Rightarrow \begin{cases} \omega_u = 0.46 \\ P_u = 13.7 \text{ min} \end{cases} \quad \text{حال داریم}$$

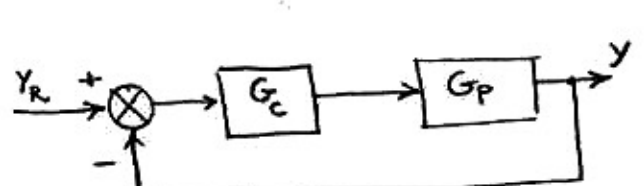
$$AR = \frac{0.59 K_c}{\sqrt{(7.2)^2 \omega^2 + 1}} \Rightarrow K_{cu} = 5.90 \quad \checkmark$$

$$\tau_I = \tau_p + \frac{t_0}{2} = 7.2 + \frac{4.1}{2} = 9.3 \text{ min} \quad \checkmark \quad \text{RTMC/step}$$

$$K_c = \frac{\tau_p + t_0/2}{K_p \lambda} = \frac{15.7}{\lambda}, \quad \lambda \geq 7.0 \text{ min}$$

حال  $\lambda$  را انتخاب می کنیم و  $M_s = 1.3$  شود. لذا داریم  $\langle \text{Reactor\_inst.m} \rangle$  فایل:  $M_s = 1.3 \Rightarrow \lambda = 15.4 \text{ min} \Rightarrow K_c = 1.02 \quad \checkmark$

یکی از معیارهایی که معمولاً در طراحی کنترل کننده‌های PI، بارهای IMC تحت تنظیم پارتر ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد، حداکثر تابع حساسیت ( $M_s$ ) می‌باشد. تابع حساسیت برای یک حلقه کنترل بصورت زیر تعریف می‌شود:

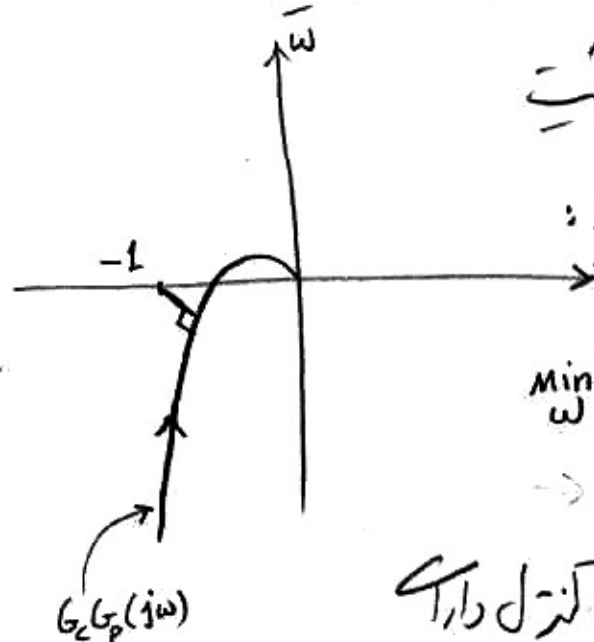


$$S = \frac{1}{1 + G_C G_P(s)}, \quad M_s = \max_{\omega} |S(j\omega)|$$

با رسم نمودار نایلوئیست مدل مدار باز حلقه کنترل (مجاای) داریم:

همانند که مشاهده می‌کنیم، کراد (کراد) فاصله نمودار نایلوئیست

با مرکز نایلوئیست (نقطه -1,0) عبارت است از:



$$\min_{\omega} |1 + G_C G_P(j\omega)| = \frac{1}{M_s}$$

$\rightarrow M_s$  فاصله نمودار نایلوئیست  $S(j\omega)$

بنابراین با انتخاب مناسب  $M_s$ ، حلقه کنترل دارای

حاشیه فاز و حاشیه بهره مناسب خواهد بود. معمولاً در طراحی کنترل کننده‌ها

معنوی قانون سرانگشتی  $M_s$  در محدوده ۱.۲ تا ۲ در نظر گرفته می‌شود. با

کاهش  $M_s$ ، پایداری مقدم (Robustness) حلقه کنترل افزایش یافته ولی

performance کل کاهش می‌یابد و بالعکس. در این مدل ۱.۳

تعیین شده است،  $M_s = 1.3$  حاصل شود.

$$\lambda \gg D = 4.1 \text{ min}$$

$$\tau_I = \min \left\{ \tau, \frac{\tau}{4(\lambda + D)} \right\} = 7.2 \text{ min} \quad \checkmark$$

$$K_c = \frac{\tau}{K_p(\lambda + D)} = \frac{7.2}{0.59(\lambda + 4.1)} = \frac{12.2}{\lambda + 4.1}$$

حال اگر بخواهیم تعیین کنیم تا  $M_s = 1.3$  شود، لذا داریم (فین:  $\langle \text{Reactor\_ms2.m} \rangle$ ):

$$M_s = 1.3 \Rightarrow \lambda = 9.5 \text{ min} \Rightarrow K_c = 0.90 \quad \checkmark$$

روش TL/step: با استفاده از روش TL داریم

$$\tau_I = \frac{P_u}{0.45} = \frac{13.7}{0.45} = 30.4 \text{ min} \quad \checkmark$$

$$K_c = \frac{K_u}{3.2} = \frac{5.90}{3.2} = 1.84 \quad \checkmark$$

نسبت ساز فرکانس همراه با حلقه کنترل در فین:  $\langle \text{Reactor\_close1.slx} \rangle$  ارائه شده است.

۲- استفاده از آزمایش مدار بسته پیچیده: در بین منظور از این راه همراه با تست زیر با مشخصات

زیر استفاده شده است: دامنه ولت = 5٪، باند مرده = 0.02٪.

تایم نسبت ساز فرکانس همراه با سیستم کنترل در ولت با نام  $\langle \text{Reactor\_close2.slx} \rangle$  ذخیره و

8 پیوست ارائه شده است. قبل از اجرای برنامه فوق باید فایل  $\langle \text{initialize\_relay.m} \rangle$

اجرا شود. در فایل مذکور اطلاعات اولیه مورد نیاز گنجانده شده است. همچنین برای اجرای سیستم نیاز

باید فایلها  $\langle \text{Reactor\_model.m} \rangle$  و  $\langle \text{relayfun.m} \rangle$  در فولدر اجرای نرم افزار MATLAB

موجود باشند. Sfunction اول مربوط به تعریف مدل راکتور و Sfunction دوم مربوط

به مونیتورینگ پاسخ مدار است. در صورت استفاده از راه و همچنین طالع کنترل کته. براساس

نتایج حاصل از آزمایش مدار بسته پیچیده و با استفاده از نسبت ساز فرکانس



(Euler) ode1 با اندازه قدم 0.1 min استفاده شده است.

پس از اجرای سیمولینک نتایج زیر از آزمون پیچورر حاصل گرام:

$$a = 0.333\% \text{ (دامنه نوسان)}$$

$$P_u = 11.0 \text{ min (پریود نوسان)}$$

$$K_{cu} = \frac{4P}{\pi a} = 19.1$$

$$\omega_u = 0.571$$

- طالع کنترل کننده PI براساس نتایج:  $TL/Relay$  : با توجه به نتایج حاصل از آزمون پیچورر / دامنه

$$TL: \begin{cases} \tau_I = P_u / 0.45 = 24.4 \text{ min} \\ K_c = K_{cu} / 3.2 = 5.97 \end{cases}$$

- طالع کنترل کننده PI براساس نتایج:  $RTMC/Relay$  : بدین منظور رابطه براساس نتایج حاصل از پیچورر را، یک مدل  $FOPDT$  برای فرآیند مدار باز تعیین فرمایم. ولی با توجه به آنکه مقدار زمان همراه می باشد از طریق آزمون  $(t_0)$  حین آزمایش (حدود 1.2 min) امکان شناسایی مدل  $FOPDT$  وجود ندارد. در این رفع مشکل فوق ابتدا یک مدل دوجو هم همراه با زمان همراه  $SOPDT$  برای فرآیند شناسایی شده در دسترس مدل حاصل بک مدل  $FOPDT$  تقریب زده شده و این مدل طریقه به پیچورر زیر است:

$$SOPDT: \frac{K_p e^{-t_0 s}}{(\tau_p' s + 1)^2} \xrightarrow[\substack{\omega_u = 0.571 \\ t_0 = 1.2 \text{ min}}]{K_{cu} = 19.1} \begin{cases} \tau_p' = 4.91 \text{ min} \\ K_p = 0.463 \end{cases}$$

$$FOPDT: \frac{K_p e^{-t_0 s}}{\tau_p s + 1} \xrightarrow[\substack{\omega_u = 0.571 \\ K_{cu} = 19.1}]{K_p = 0.463} \begin{cases} \tau_p = 15.4 \text{ min} \\ t_0 = 2.95 \text{ min} \end{cases}$$

- حال براساس مدل فوق و در دسترس  $RTMC$  و  $STMC$  (  $M_s = 1.3$  ) و با استفاده از سیمولینک:

PI پیچورر زیر حاصل شده است

$$RTMC/Relay: \begin{cases} \tau_I = 16.9 \text{ min} \\ K_c = 3.47 \\ \lambda = 10.5 \text{ min} \end{cases}$$

$$STMC/Relay: \begin{cases} \tau_I = 15.4 \text{ min} \\ K_c = 3.4 \\ \lambda = 6.85 \text{ min} \end{cases}$$

۳- در سر عملگر دکنه لکته های حروف و ... به از آن تغییرات با اکر مقدار مقرر داشته شود :

5.1.5. هر یک از سیم‌کشی‌های زیر را با توجه به (TL/step, RMC/step, SMC/step) مشخص کنید.

در حالت مدار بسته می تغییر پیدا کند (TL/Relay, R1MC/Relay و S1MC/Relay) در حالت مدار بسته می تغییر پیدا کند  
مقدار مقرر دما به اندازه 1% و می تغییر پیدا کند در دما خوراکی به اندازه 2°C - اعمال  
شده است. یا ضخیم ها مدار بسته دما بر مبنای حالت اول (طالع بر اساس آزمایش مدار باز می باشد) در شکل  
(Reactor-close1.fig) و در حالت دوم (طالع بر اساس آزمایش مدار بسته می باشد) در  
شکل (Reactor-close2.fig) نشان داده شده است. ها گلدن که مشاهده می گردد  
در هر دو حالت کنترل کننده بر اساس رنج TL دارا عملکرد نامناسب خواهد بود. علت  
این مسئله آن است که نسبت  $D/H > 0.1$  و باشد.  
نکته دیگر که قابل ملاحظه است، آن است که کنترل کننده ها طالع می باشد. بر مبنای  
آزمایش یا ضخیم دارا عملکرد متفاوت با کنترل کننده ها طالع می باشد. بر مبنای آزمایش می خورد  
می باشد. چرا که این درایم که اس از هر رنج (آزمایش مدار باز یا ضخیم دارا آزمایش مدار بسته  
می خورد) مقدار حد را با دقت بیشتر تعیین می کنند، به این معنی که دقیق یا از هر دو  
فرایند را از طریق خط ساز حول نقطه کاسر تعیین کنیم. چرا که تعیین مدل خط فرایند و کنترل  
از دستور 'linmod' در نرم افزار MATLAB صورت پذیرا استفاده نمود:

- ابتدا در فای سیس ساز مدار باز خوانید توسط نرم افزار Simulink، ورودی حاصل در نظر را با خروجی

و غریب کا مورد نظر ایک پورے

1 in

1 out

میں سے کہنے

<Reactor\_open2.slx>

(توجہ کہ مدخل خط مابین دو لور  $m_2$  و  $\frac{out}{da}$  اندازہ گیر شد  $Tm$  مدخل و با  $e$ ).

از مدل شبیه سازشده ساخته، بردار متغیرها حالت را می توانند توسط دستور زیر استخوان



نامته:  $X = \text{Simulink}.\text{BlockDiagram}.\text{getInitialState}('Reactor\_open2')$

- مقایسه برای متغیرهای حالت این از طریق دستور زیر از شبیه ساز استفاده کنید (فقط تعادل):

> X.signals.values

با احتیاط دستور فوق داریم:

$$X_0 = [58.73 \quad 0.2309 \quad 667.451 \quad 588.792]$$

- حال با استفاده از دستور  $\text{linmod}$  مدل خط حول نقطه کار به صورت زیر حاصل می شود:

مدل خط حول نقطه کار (m2) مقدار نامی دوم (m2)

$$[A, B, C, D] = \text{linmod}('Reactor\_open2', X_0, 75)$$

تابع تبدیل:  $G_p = \text{tf}(ss(A, B, C, D))$

نتیجه این داریم:

$$G_p(s) = \frac{0.0255s + 0.01}{s^4 + 1.994s^3 + 1.1s^2 + 0.2109s + 0.0172}$$

ما قاب بهره و فرکانس محدث تابع تبدیل فوق داریم:

مدل خط دقیق:  $\left\{ \begin{array}{l} K_{cu} = 27.8 \\ W_u = 0.679 \end{array} \right\}$

مدل FOPDT (آر اس پی):  $\left\{ \begin{array}{l} K_{cu} = 5.9 \\ W_u = 0.46 \end{array} \right\}$

آر اس پی پیچیده:  $\left\{ \begin{array}{l} K_{cu} = 19.1 \\ W_u = 0.571 \end{array} \right\}$

همانگونه که مشاهده کردیم مقایسه بین روش توپولوژی پیچیده با واقعیت سازگار بیشتر دارد. این موضوع می تواند کاربرد روش مذکور در صنعت و باشه.

موفق باشید.