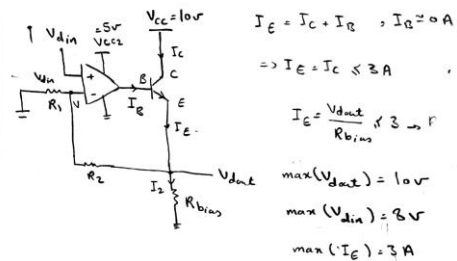
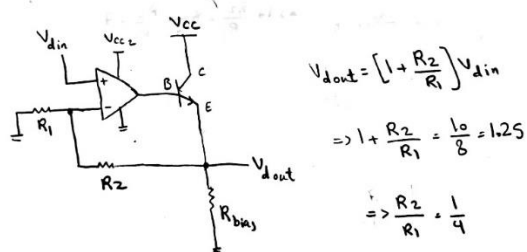


$$V_{in} \rightarrow R = 12\Omega \rightarrow i_{in} = \frac{V_{in}}{R} \rightarrow i_{in,max} = \frac{V_{in,max}}{R} = \frac{10}{12} A \quad (1)$$

$$1) P_{heater} = \frac{V_{in}^2}{R} \rightarrow \begin{matrix} 0 \text{ وات} \rightarrow V_{in} = 0V \\ 100 \text{ وات} \rightarrow V_{in} = 10V \end{matrix}$$

$$V_{dout} = V_{ain} \Rightarrow V_{dout} \in [0, 10] V$$

$$V_{din} \in [0, 8] V$$



$$\frac{V_{dout} - V_{din}}{R_2} + \frac{V_{dout}}{R_{bias}} = 3 \rightarrow \frac{2}{R_2} + \frac{10}{R_{bias}} = 3$$

$$R_2 \geq \frac{2}{3}, R_{bias} \geq \frac{10}{3}$$

$$\rightarrow R_{bias} = 4 \Omega \rightarrow \frac{2}{R_2} + 2.5 = 3 \rightarrow R_2 = 4 \Omega$$

$$R_1 = 4 R_2 = 16 \Omega$$

$$\Rightarrow R_{bias} = 4 k\Omega, R_2 = 4 k\Omega, R_1 = 16 k\Omega$$

2) ابقية صفت قبل  $\frac{V_{din}}{R_1} + \frac{V_{din} - V_{dout}}{R_2} = 0 \rightarrow V_{dout}(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{din}(t)$

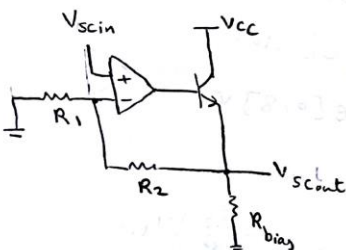
$\Rightarrow V_{dout}(t) = 1.25 V_{din}(t) \rightarrow V_{dout}(s) = 1.25 V_{din}(s)$

$\Rightarrow G_d = \frac{V_{dout}(s)}{V_{din}(s)} = 1.25$

3)  $\lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.01}{s+1} = 0.01$

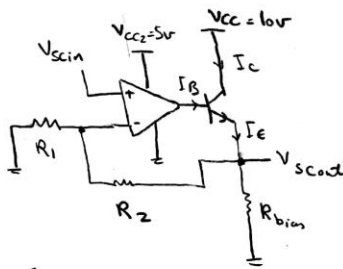
$\Rightarrow$  ،  $V_{sout} = \frac{T_s}{100} \rightarrow V_{sout} \in [0, 1] \text{ V}$   
 $T_s \in [0, 100]^\circ \text{C}$

$V_{sout} = V_{scin} \in [0, 1] \text{ V} \rightarrow V_{scout} \in [0, 8] \text{ V}$



$V_{scout} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{scin}$

$\Rightarrow 1 + \frac{R_2}{R_1} = 8 \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 7$



$$I_B \approx 0 \rightarrow I_E = I_C + I_B \approx I_C$$

$$\max(I_E) = 3 \text{ A}$$

$$\max(V_{scin}) = 1 \text{ V}$$

$$\max(V_{scout}) = 8 \text{ V}$$

$$\frac{8}{R_2} + \frac{1}{R_{bin}} = 3 \rightarrow \frac{7}{R_2} + \frac{8}{R_{bin}} = 3$$

$$R_2 \geq \frac{7}{3} \quad R_{bin} \geq \frac{8}{3} \rightarrow R_2 = 7 \rightarrow R_{bais} = 4 \rightarrow R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_2 = 7 \text{ k}\Omega \quad R_{bais} = 4 \text{ k}\Omega \quad R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

(4)

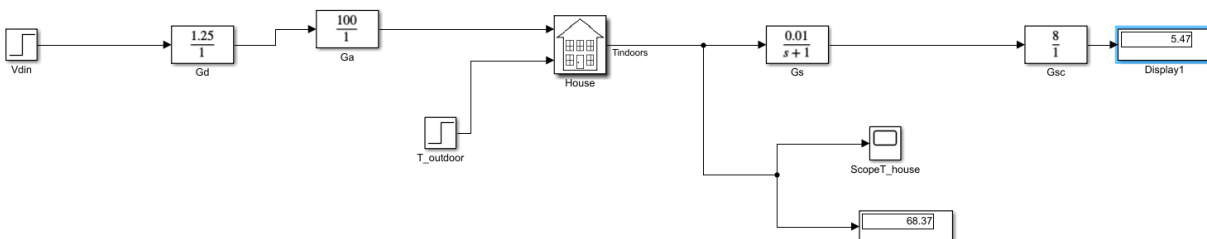
$$4) \text{ با استفاده از: } \frac{V_{scin}}{R_1} + \frac{V_{scin} - V_{scout}}{R_2} = 0 \rightarrow$$

$$V_{scout}(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{scin}(t) \rightarrow V_{scout}(t) = 8 V_{scin}(t)$$

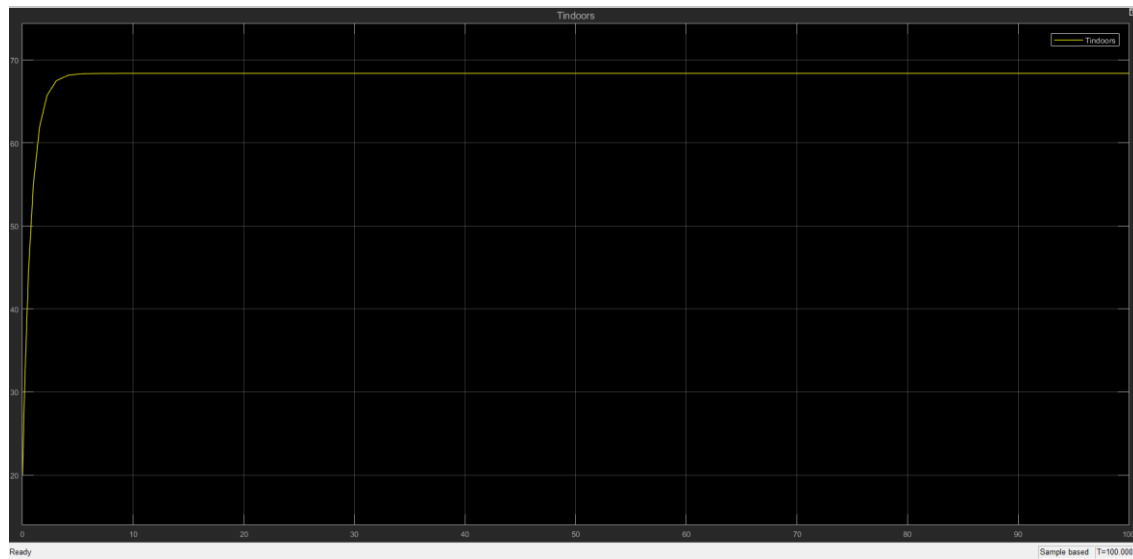
$$\Rightarrow V_{scout}(s) = 8 V_{scin}(s) \rightarrow$$

$$G_{sc}(s) = \frac{V_{scout}(s)}{V_{scin}(s)} = 8$$

تابع تبدیل به صورت زیر در می آید:



با ورودی پله  $V_{din}=10\text{V}$  و  $T_{outdoor}=15\text{C}$  مقدار دمای خانه در حالت ماندگار به  $T_{indoor}=68.37\text{C}$  می رسد و نمودار آن نیز به صورت زیر در می آید:

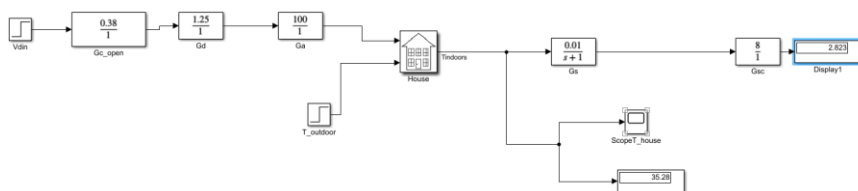


(5)

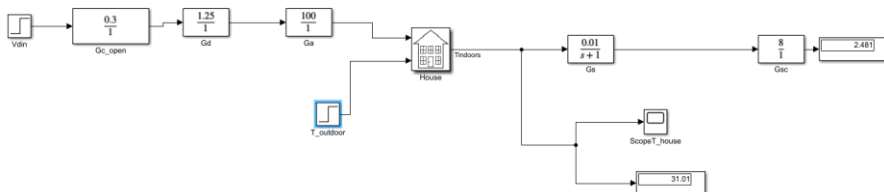
با توجه به نمودار بدست آمده در قسمت قبل، چون سیستم پایدار است، کنترل حلقه باز را به صورت یک gain در نظر میگیریم میسازیم:

$$G_{c\_open}=k$$

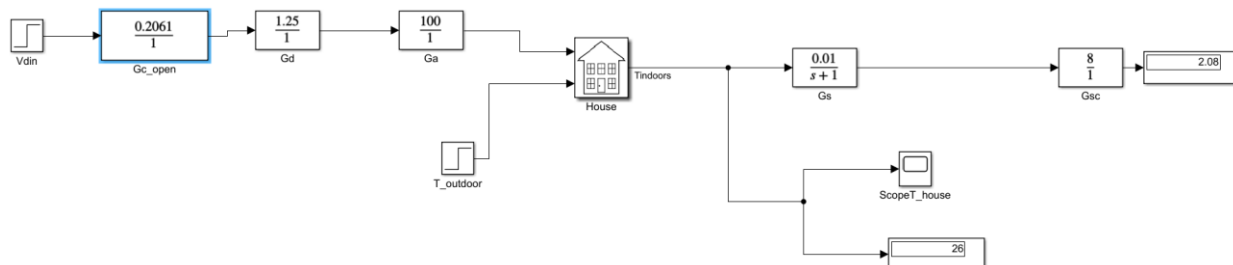
ابتدا  $k=26/68.38=0.38$  قرار میدهیم:



میبینیم که مقدار دمای خانه در حالت ماندگار به  $T_{indoor}=35.28\text{ c}$  میرسد به همین خاطر  $k$  را همچنان کم کرده و به  $k=0.3$  می‌رسانیم:



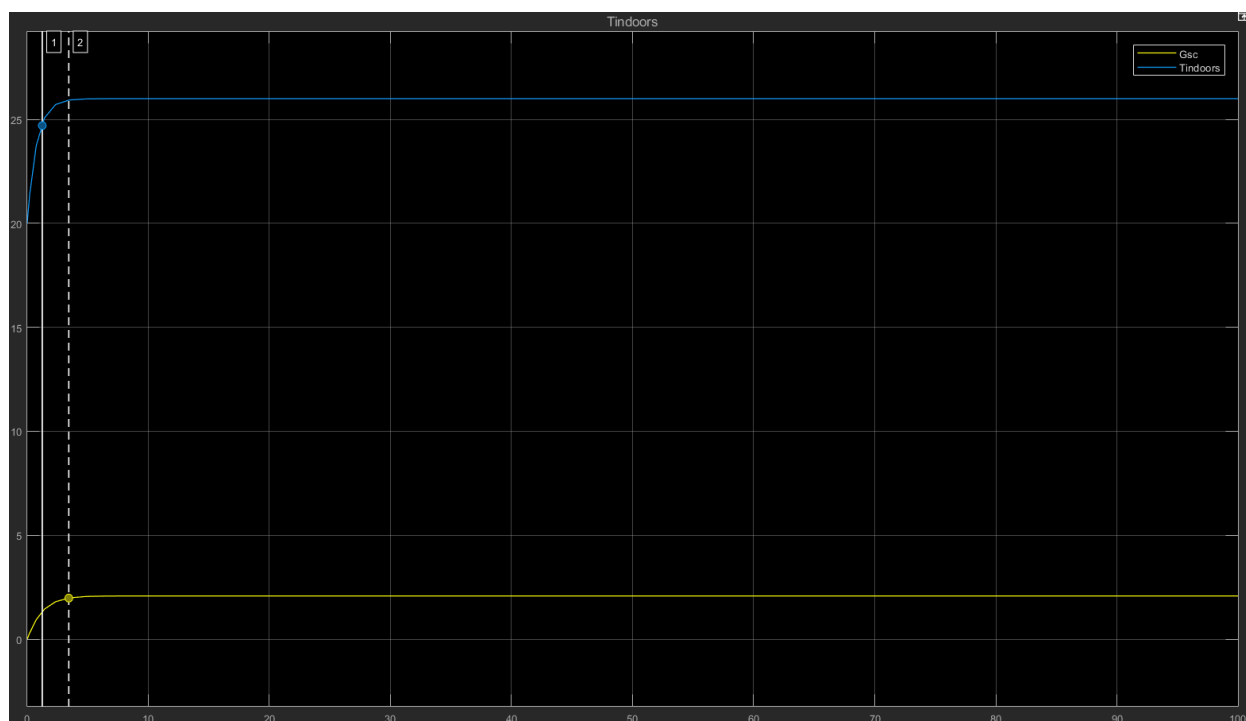
میبینیم که مقدار دمای خانه در حالت ماندگار به  $T_{\text{indoor}}=31.04\text{ c}$  میرسد به همین خاطر  $k$  را همچنان کم کرده و در نهایت به  $k=0.2061$  می‌رسانیم:



میبینیم که مقدار دمای خانه در حالت ماندگار به  $T_{\text{indoor}}=26\text{ c}$  در نتیجه:  $G_{c\_open}(s)=0.2061$

(6)

نمودار دمای خانه ( $T_{\text{house}}$ ) و خروجی حسگر بهبود یافته ( $G_{sc}$ ) به صورت زیر در می‌آید:



همان طور که در نمودار می‌بینیم:

دمای خانه ( $T_{\text{indoor}}$ ):

مقدار ماندگار:  $C_{ss}=26$

خطای ماندگار: 0

فرجهش:  $\text{overshoot}=0$

زمان نشست (معیار 95٪):  $t_s=1.24$  s

خروجی حسگر (Gsc):

مقدار ماندگار:  $C_{ss}=2.08$

خطای ماندگار: 0

فرجهش:  $\text{overshoot}=0$

زمان نشست (معیار 95٪):  $t_s=3.432$  s

می بینیم که خروجی حسگر کند تر از دمای خانه است زیرا که حسگر با مقداری تاخیر دمای خانه را میخواند.

	Time	Value
1	1.240	2.470e+01
2	3.432	1.976e+00
$\Delta T$	2.192 s	$\Delta Y$ 2.273e+01
$1 / \Delta T$		456.204 mHz
$\Delta Y / \Delta T$		10.368 (/s)

(7)

7)

$V_{cin} \rightarrow G_{copen} = 0.2061 \rightarrow V_{cout} \quad \frac{V_{cout}}{V_{cin}} = 0.2061$

$I_B = 0 \text{ A}$   
 $I_E = I_C + I_B \approx I_C$   
 $I_E = 3 \text{ A}$

$$\frac{V_1}{R_2} + \frac{V_1 - V_{cin}}{R_1} = 0 \rightarrow V_{cin} = V_1 \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \rightarrow V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_C$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1 - V_{cout}}{R_2} = 0 \rightarrow V_{cout} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_1$$

$$\Rightarrow V_{cout} = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{R_2}{R_1} V_{cin} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{cout}}{V_{cin}} = 0.2061$$

بزرگترین  $V_{cin} \rightarrow V_{cout} = 0.2061 \times 10 = 2.061 \text{ V}$

$$\frac{V_{cout}}{V_1} = (1.2061) V_1 \rightarrow V_1 = \frac{2.061}{1.2061} = 1.709 \text{ V}$$

$$\frac{V_{cout} - V_1}{R_1} + \frac{V_{cout}}{R_{bias}} = 3 \rightarrow R_2 \geq 0.118 \quad R_1 = \frac{0.2}{0.2061} = 0.97 \Omega$$

$$R_{bias} \geq 0.69 \rightarrow R_2 = 0.2 \Omega$$

$$\frac{2.061}{R_{bias}} = 3 - \frac{0.352}{0.2} = 1.24 \rightarrow R_{bias} = \frac{2.061}{1.24} = 1.67 \Omega$$

مقادیر مقادیر

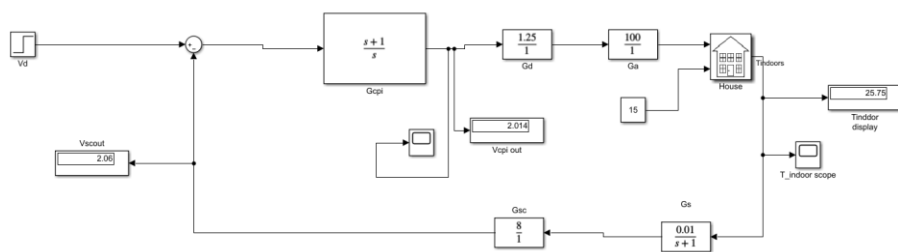
$\Rightarrow R_1 = 0.97 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 0.2 \text{ k}\Omega \quad R_{bias} = 1.67 \text{ k}\Omega$

The graph displays a single data series that starts at a high value of approximately 20.5 at x=0. It drops very steeply, reaching a value of about 16.0 by x=5. From x=5 to x=90, the value remains constant at 16.0, indicating a rapid initial change followed by a steady state.

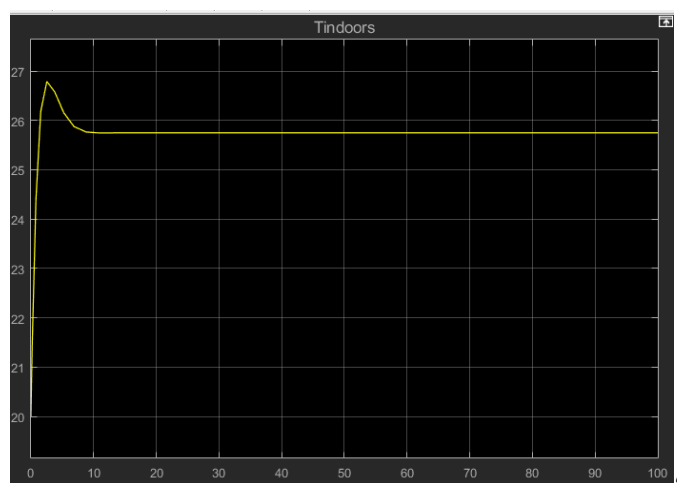
(9

**(10**

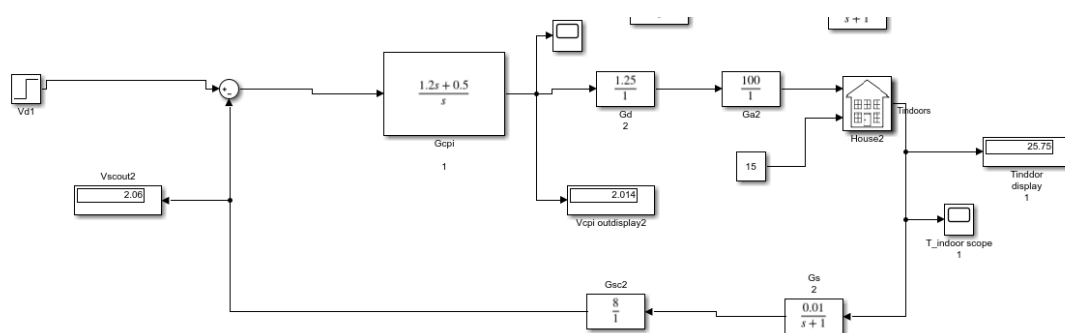
ابتدا  $G_C = \frac{s+1}{s}$  را در نظر میگیریم:



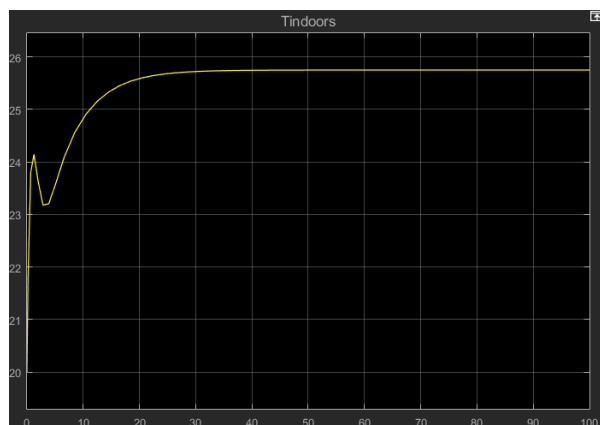
نمودار دمای خانه (T\_indoors) به صورت زیر در می آید:



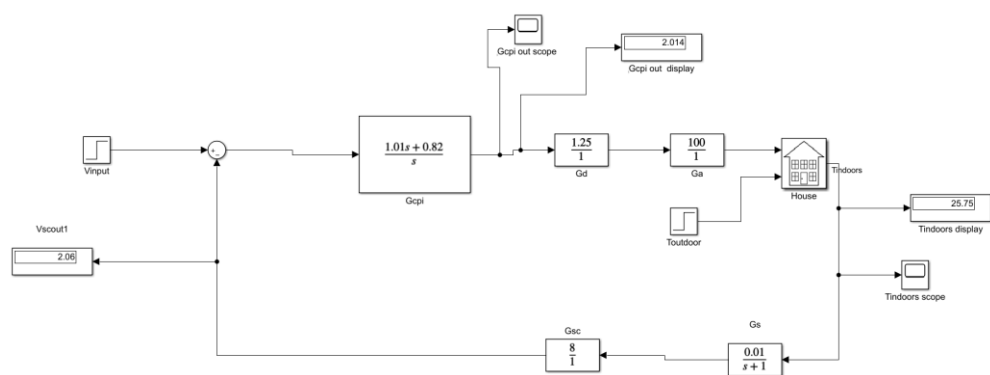
همانطور که میبینیم نمودار فراجش دارد، به همین خاطر مقدار  $k_p$  را افزایش و  $k_i$  را کاهش میدهیم و کنترلر به صورت  $G_c = \frac{1.2s+0.5}{s}$  قرار میدهیم:







میبینیم که overshoot از بین رفته ولی undershoot کمی زیاد است و سیستم نیز کمی کند است ، در نهایت کنترلر را به صورت  $G_c = \frac{1.01s+0.82}{s}$  قرار میدهیم:

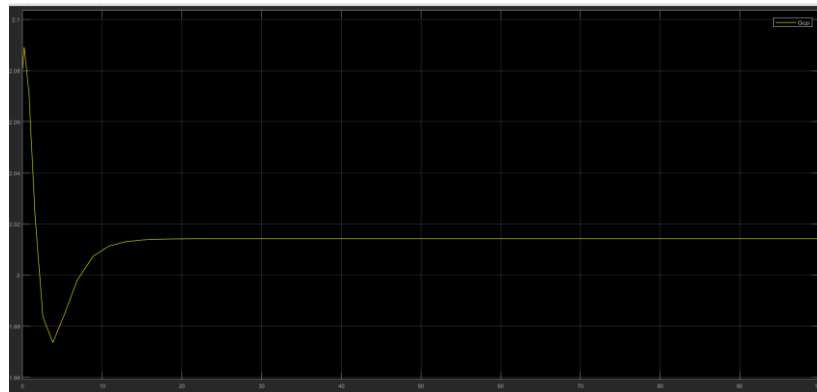


دمای خانه به صورت زیر در می آید:



همانطور که میبینیم سیستم overshoot نداشته و زمان نشست آن نیز کمتر از 40s است.

مقدار ولتاژ خروجی کنترلر نیز به صورت زیر در می آید:

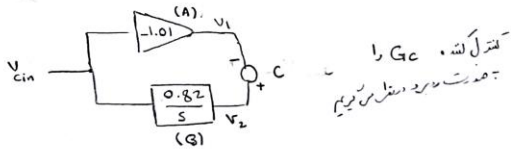


همان طور که میبینیم Vcpi-put هموار کمتر از 8v است.

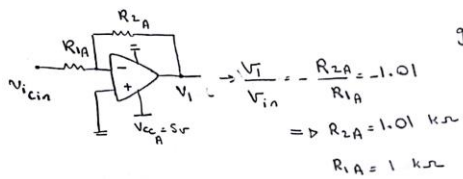
با توجه به اینکه خروجی کنترل کننده، ورودی heater driver است، که ولتاژ آن 0-8v است، مقدار Vcpi-put نباید از 8v بیشتر شود و اگر نه، heater driver آسیب میبیند.

$$G_c = \frac{1.01s + 0.82}{s} = 1.01 + \frac{0.82}{s}$$

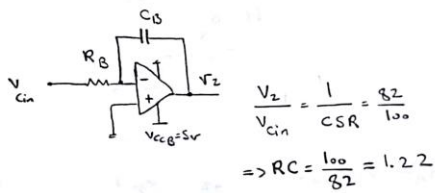
(۱) از قسمت ۱۰ داریم:  
برای کنترل کننده PI



کنترل کننده  $G_c$  را  
به صورت دو بلوک متوالی می‌نویسیم



$$g_{ain} = -1.01 \cdot (A)$$

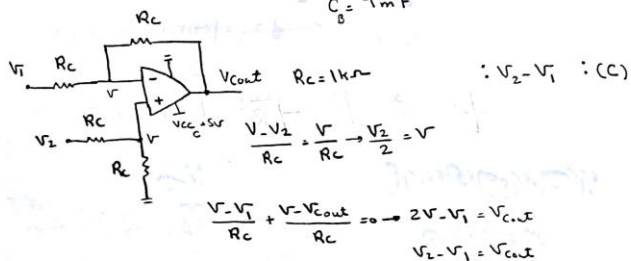


$$\frac{0.82}{s} : (B)$$

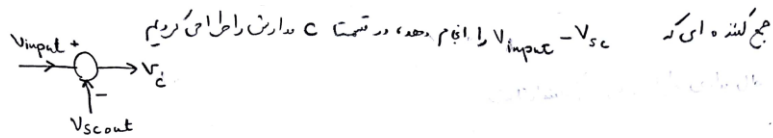
$$\Rightarrow RC = \frac{100}{82} = 1.22$$

$$\rightarrow R_B = 1.22 \text{ k}\Omega$$

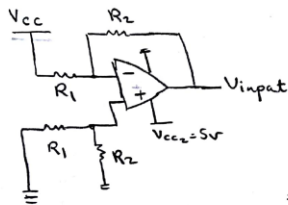
$$C_B = 1 \text{ mF}$$



$$: V_2 - V_1 : (C)$$



حال مداری طای می کنیم که ولتاژ مرجع  $V_{input} = 2.061$  را تولید کند:



$$V_{input} = \frac{R_2}{R_1} (V_{cc} - 0)$$

$$= \frac{R_2}{R_1} V_{cc} \quad V_{cc} = 10V$$

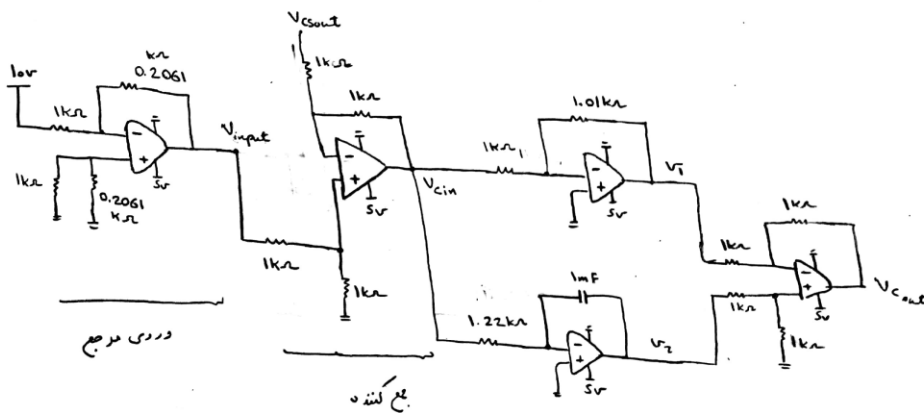
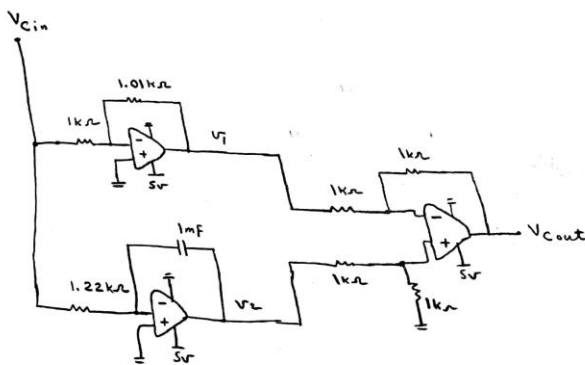
$$V_{input} = 2.061V$$

$$\Rightarrow \frac{V_{input}}{V_{cc}} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{2.061}{10}$$

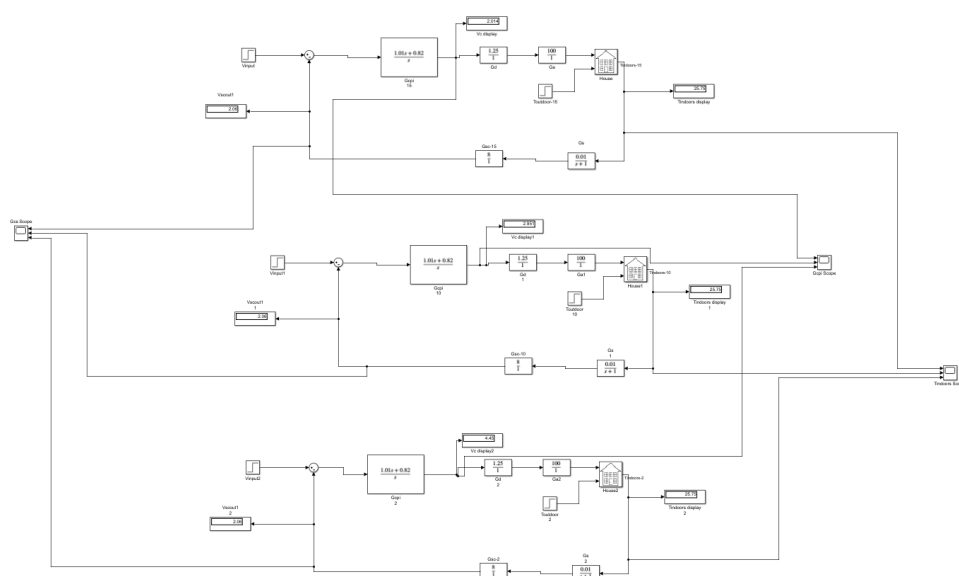
$$\Rightarrow R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 0.2061k\Omega$$

در تقسیم کنند ل کنند - هدرت زیر در می آید:



فیلتر ل کنند. PI



نمودار خروجی حسگر بهبود یافته به صورت زیر در می آید:



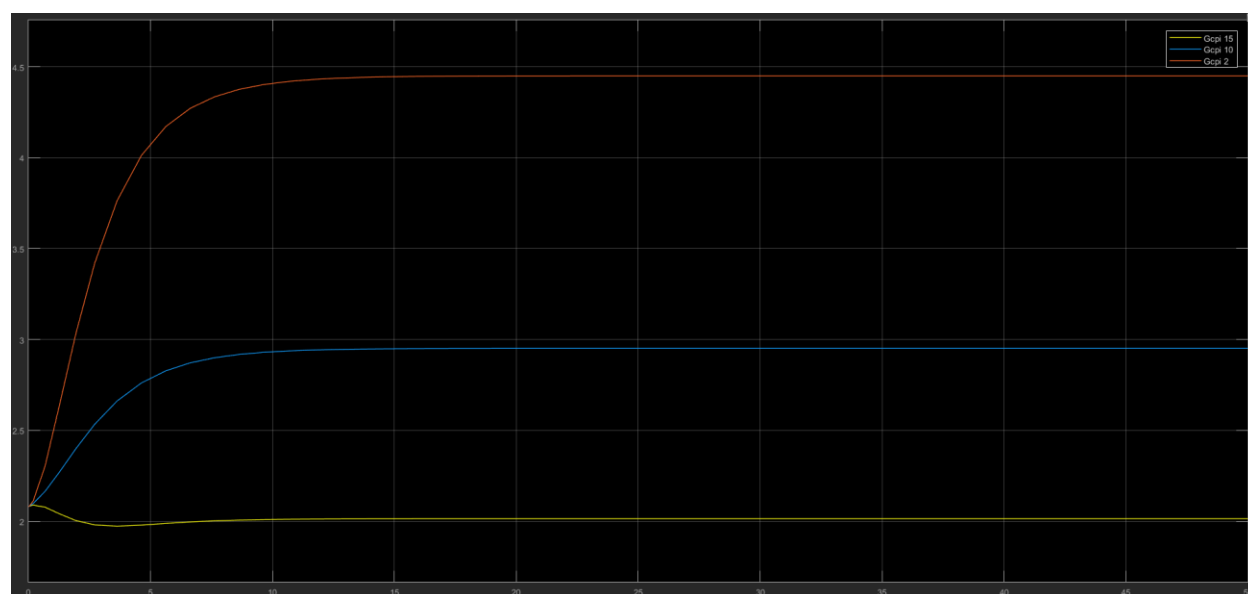
همان طور که میبینیم با تغییر دمای T<sub>outdoor</sub> ، خروجی حسگر بهبود یافته در حالت پایدار تغییر نمیکنند و در هر سه حالت در نهایت به مقدار  $V_{csout}=2.06v$  میرسد. همچنین میبینیم هرچه T<sub>outdoor</sub> از مقدار مطلوب 26 دورتر شده است، زمان نشست افزایش می یابد زیرا زمان بیشتری طول میکشد تا اختلاف دمای بیرون و دمای مطلوب جبران شود.

نمودار خروجی فرایند که همان دمای اتاق (Tindoors) است به صورت زیر در می آید:



همانطور که میبینیم، در هر سه حالت، Tindoors در نهایت به حالت پایدار و  $25.75^{\circ}\text{C}$  رسیده است. همانطور هم که گفته شد، هر چه Toutdoor کاهش یافته و از مقدار مطلوب اختلاف بیشتری پیدا کرده است، زمان نشست افزایش یافته است. همچنین میبینیم که undershoot هم داریم که به این خاطر است که در ابتدا heater تاثیر کمی بر سیستم دارد و تاثیر Toutdoors زیاد می باشد ولی با گرم شدن، heater، تاثیر آن بر سیستم زیاد شده و تاثیر Toutdoors کم میشود و در نهایت دمای خانه Tindoor پایدار میشود.

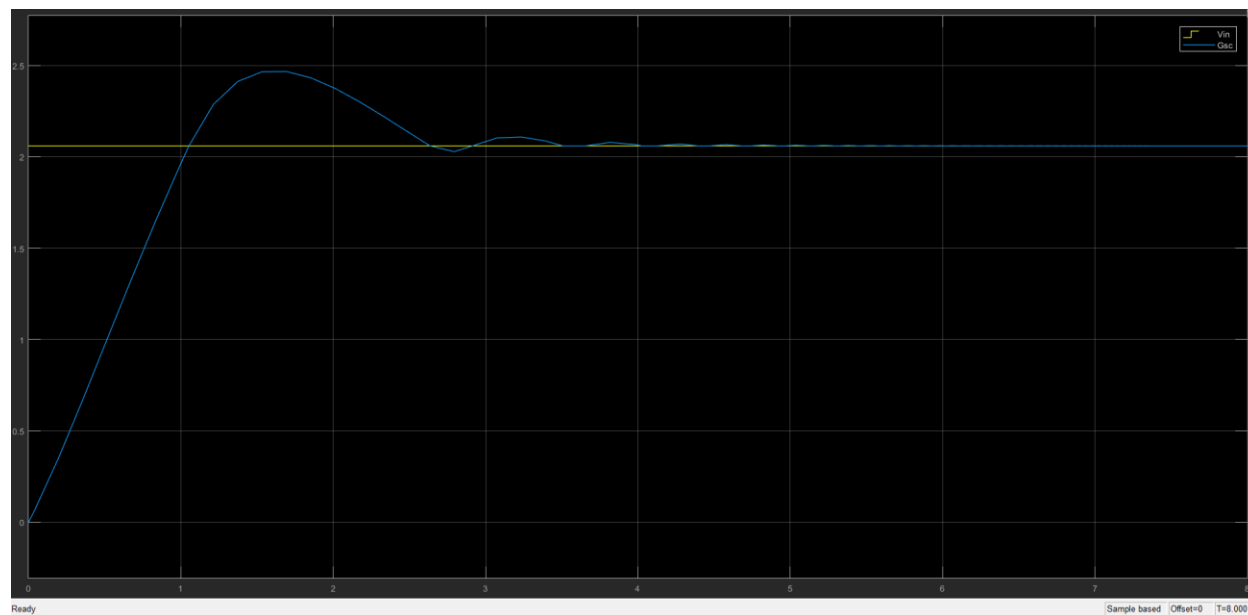
نمودار خروجی کنترلر به صورت زیر در می آید:



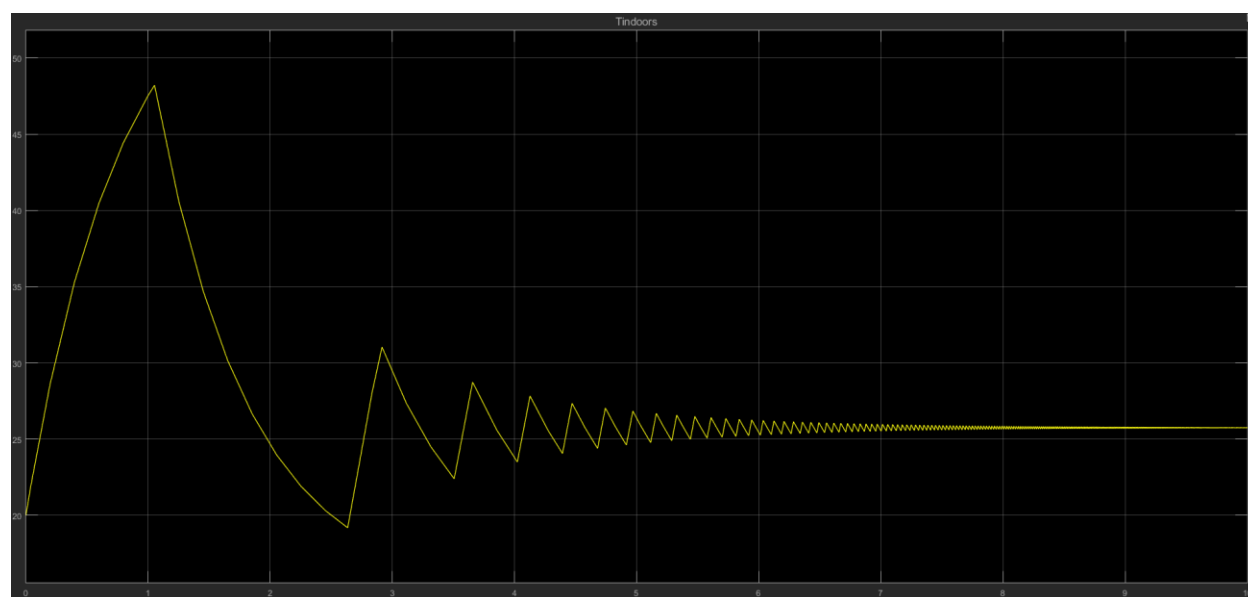
همانطور که میبینیم خروجی هر سه کنترل کننده در نهایت پایدار میشود و این سه مقدار با هم برابر نیستند. خروجی  $G_{cpi}$  در سه حالت  $T_{outdoor}=15, 10, 2$  به ترتیب برابر است با  $4.45, 2.951, 2.014$  v. با توجه به اینکه می خواهیم در این سیستم اختلاف دمای بیرون  $T_{outdoor}$  را با مقدار مطلوب  $26^{\circ}C$  جبران کنیم، هرچه  $T_{outdoor}$  کاهش می یابد، اختلاف آن با مقدار مطلوب افزایش یافته و در نتیجه خروجی کنترلر  $G_{cpi}$  افزایش می یابد.

همانند قسمت 9، ولتاژ مرجع را برابر  $V_{in}=2.06V$  قرار می دهیم.

نمودار ولتاژ مرجع  $V_{in}$  و ولتاژ خروجی حسگر  $V_{csout}$  به صورت زیر در می آید:

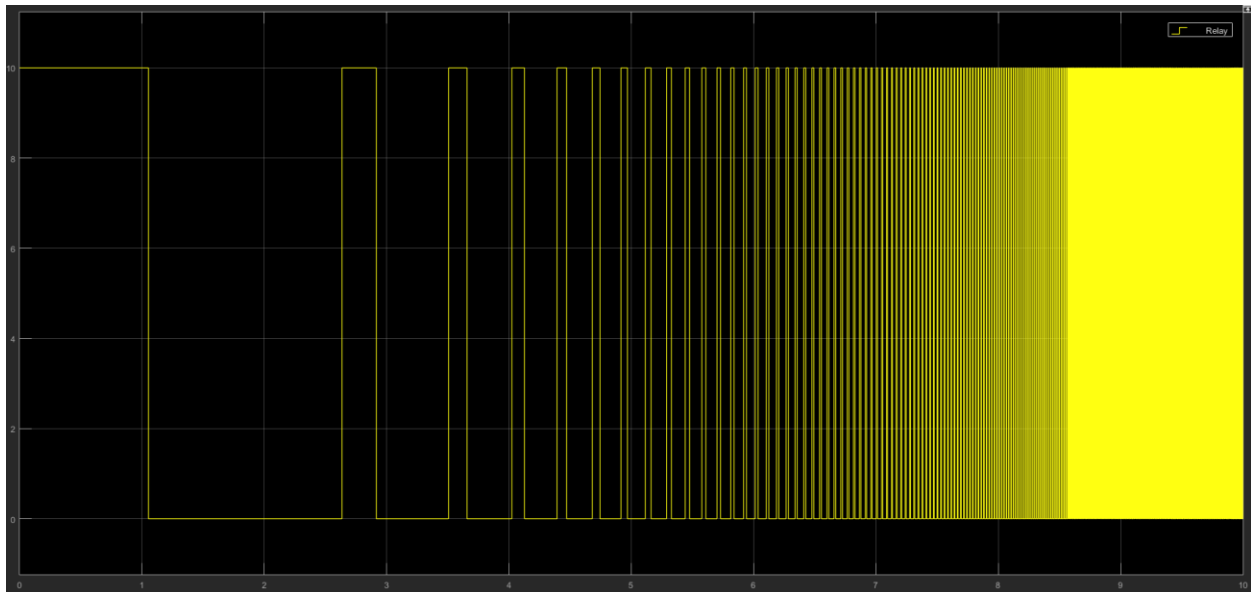


نمودار خروجی فرایند که دمای واقعی است به صورت زیر در می آید:

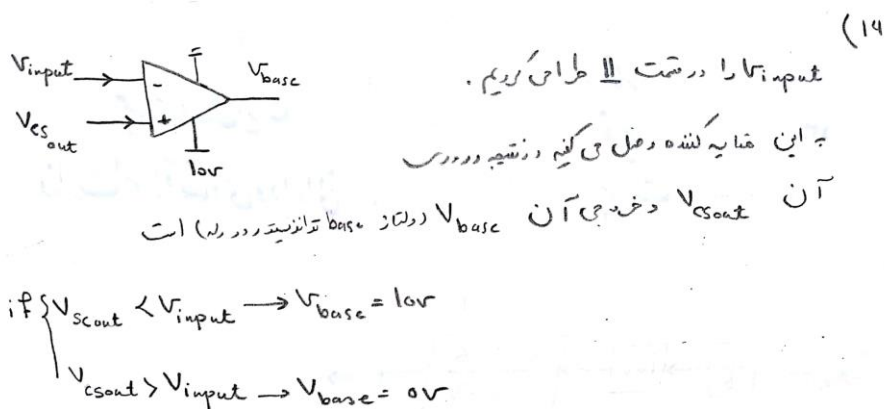




با توجه به اینکه رله را به عنوان کنترل کننده در نظر گرفته ایم، ورودی کنترل کننده به صورت زیر درمی آید:

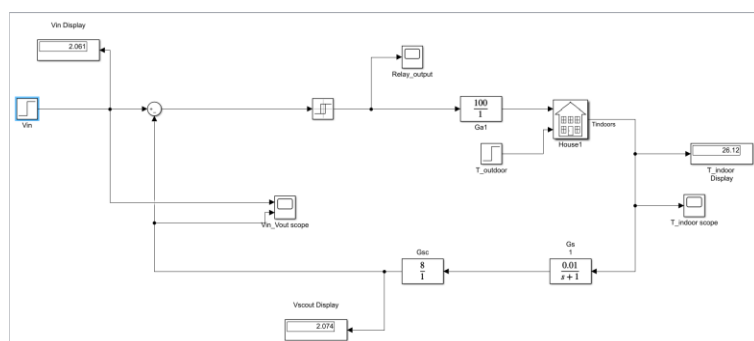


(14)



(15)

همانطور که در قسمت 13 دیدیم با تنظیم دما بر مقدار ثابت، خروجی کنترلر نواسانات شدیدی میکند، یعنی رله با سرعت زیادی switching کند و با توجه به اینکه رله ساختار مکانیکی دارد، موجب آسیب جدی به رله میشود. همچنین روشن و خاموش شدن سریع رله باعث آسیب دیدن هیتر نیز می شود.



رله را به صورت زیر تنظیم میکنیم:

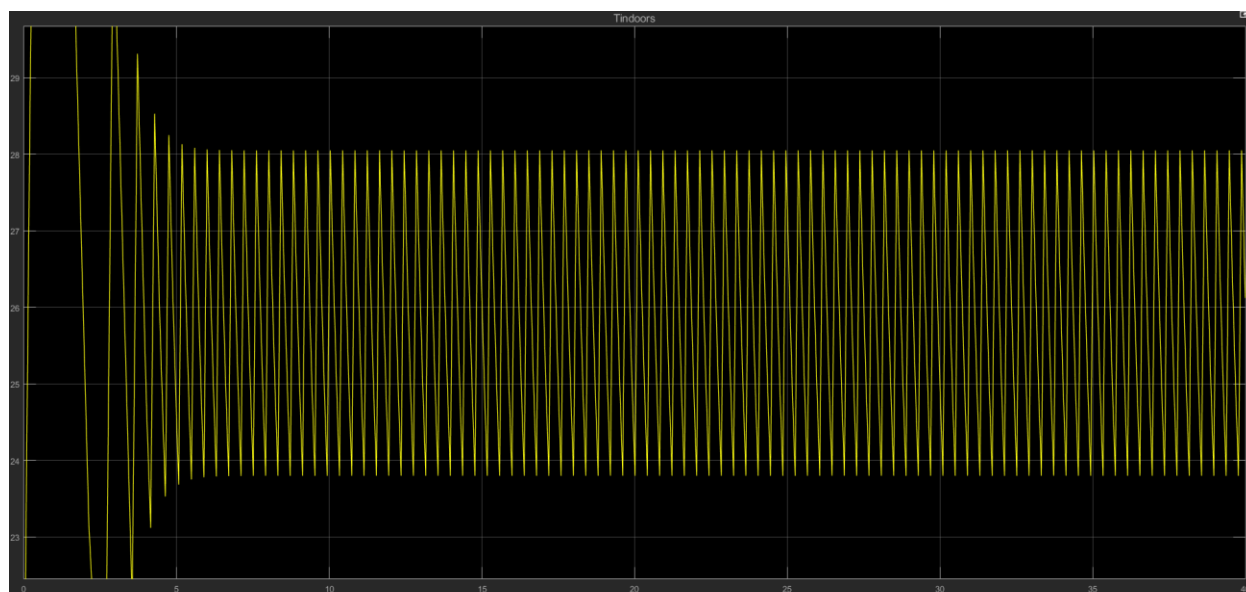
Main	Signal Attributes
Switch on point:	
0.001	
Switch off point:	
-0.001	
Output when on:	
10	
Output when off:	
0	

ورودی مرجع را به صورت  $V_{in}=2.061V$  قرار میدهیم.

نمودار خروجی حسگر (Vcsout) و ورودی مرجع (Vin) به صورت زیر در می آید:

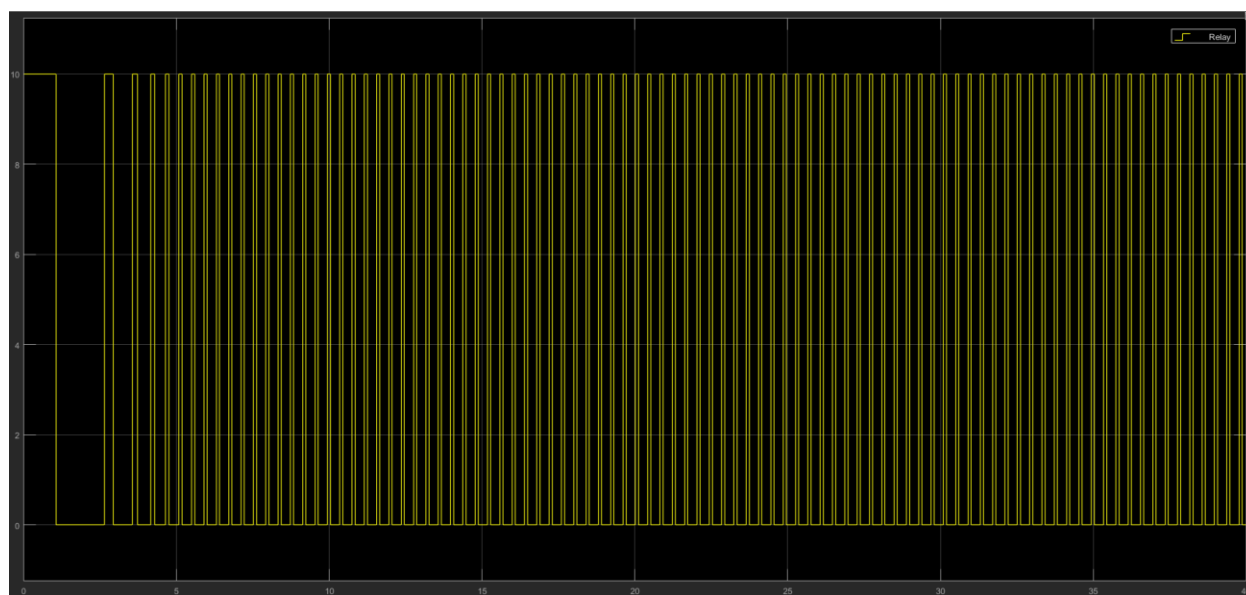


نمودار خروجی واقعی، که دمای خانه(Tindoors) به صورت زیر در می آید:



همانطور که میبینیم Tindoors بین 24,28 c تغییر میکند.

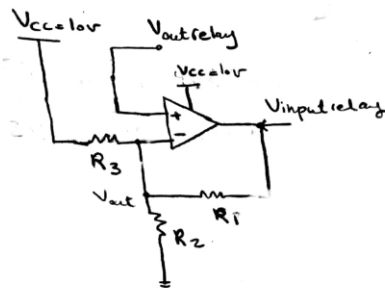
نمودار خروجی کنترلر که همان relay میباشد نیز به صورت زیر در می آید:



(17)

با تنظیم کردن relay، یک باند هیستریزیس ایجاد کردیم که باعث میشود رله با فرکانس کمتری switching کند، در نتیجه باعث افزایش عمر relay و heater میشود ولی از آنجایی که دامنه نوسانات رما افزایش میابد، دقت سامانه کم میشود و دما بین یک بازه ای قرار میگیرد.

(18) مدار را به صورت زیر می‌نویسیم:



$$V_{out \text{ relay low}} = \frac{V_{cc} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}{\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)}$$

$$V_{out \text{ relay high}} = \frac{V_{cc} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

مقدار ولتاژ مرجع را برای دمای 24 و 28 نیز بدست می‌آوریم:

$$24^\circ \text{C} \rightarrow V_{high} = 2.236 \text{ V}$$

$$28^\circ \text{C} \rightarrow V_{low} = 1.91 \text{ V}$$

$$\rightarrow \frac{V_{out \text{ high}}}{V_{cc}} = \frac{2.236}{10} = 0.2236 \quad \frac{V_{out \text{ low}}}{V_{cc}} = \frac{1.91}{10} = 0.191$$

مقدار  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  برای  $V_{cc}$

$$\frac{1 - \frac{1}{R_2}}{1 + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = 0.191 \quad , \quad \frac{1 + \frac{1}{R_2}}{1 + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = 0.2236$$

$$\frac{1}{R_2} = x \quad \frac{1}{R_3} = y$$

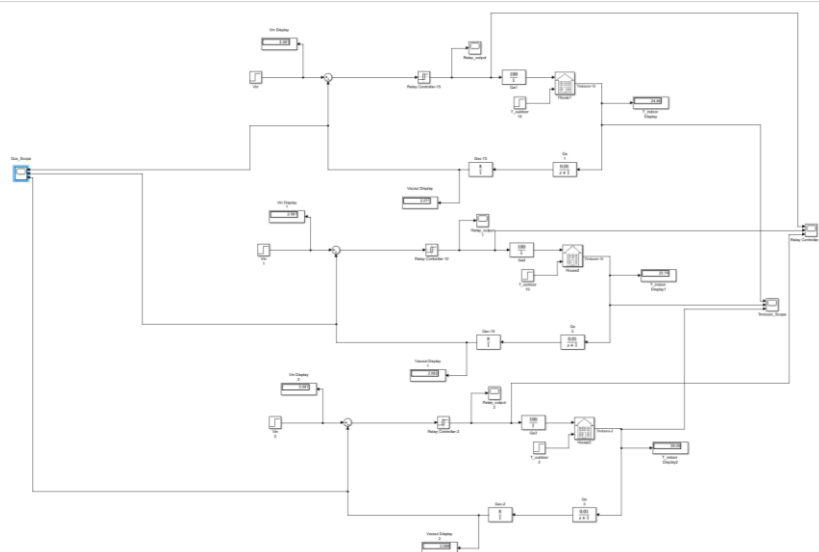
$$\frac{1-x}{1+x+y} = 0.191 \rightarrow 0.191x + 0.191y + 0.191 = 1-x$$

$$\rightarrow 1.191x + 0.191y = 0.809 \quad (1)$$

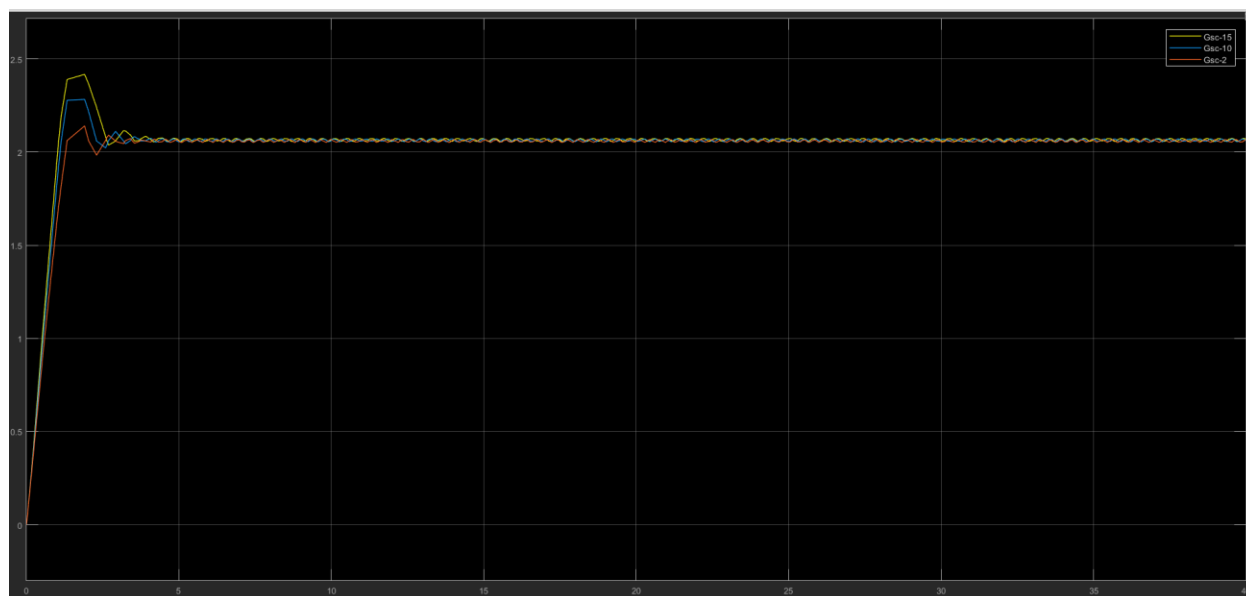
$$\frac{1+x}{1+x+y} = 0.2236 \rightarrow 1+x = 0.2236 + 0.2236x + 0.2236y$$

$$\rightarrow 0.7664x - 0.2236y = -0.7664 \quad (2)$$

$$(1), (2) \rightarrow \begin{cases} x = 0.10032 \rightarrow R_2 = 0.997 \text{ k}\Omega \\ y = 3.61 \rightarrow R_3 = 0.277 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

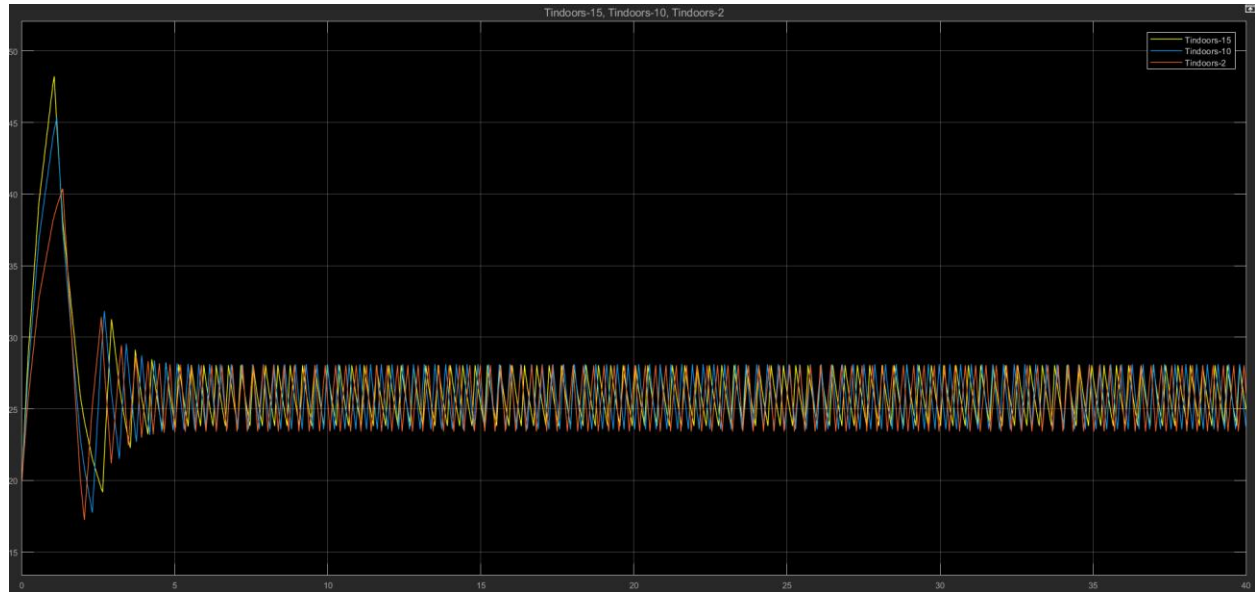


نمودار خروجی حسگر بهبود یافته Gsc به صورت زیر در می آید:



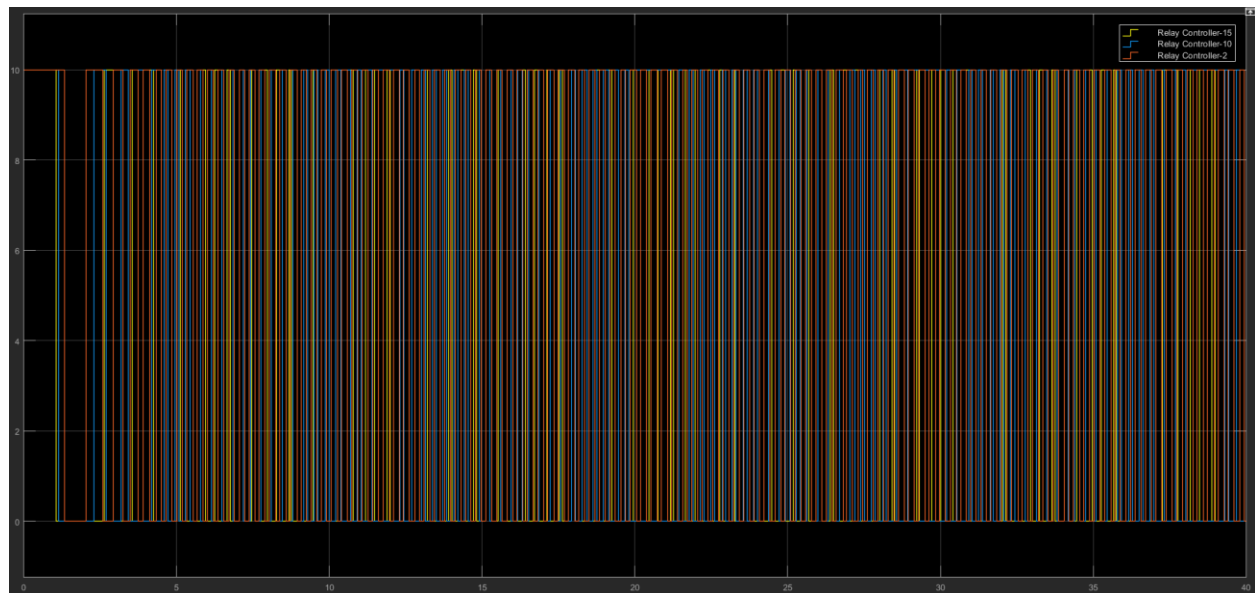
همان طور که میبینیم با تغییر دمای Toutdoor ، خروجی حسگر بهبود یافته در حالت پایدار تغییر نمیکنند و در هر سه حالت در نزدیکی 2.065v نوسانات کمی دارد.

نمودار خروجی واقعی (Tindoors) به صورت زیر در می آید:



همانطور که میبینیم با تغییر دمای Toudoors، کنترل کننده می تواند به خوبی کار کند و دمای واقعی را بین 24,18c نگه دارد

نمودار خروجی کنترل کننده Relay به صورت زیر در می آید:



همانطور که می بینیم کنترل کننده(Relay) ها در هر سه حالت در حال switching هستند و مقدار 0,10v میگیرند.