

КАСКАДНО УПРАВЛЕНИЕ НА МНОГОСВЪРЗАН ТОПЛИНЕН ОБЕКТ

Анна Георгиева, Георги Ружеков

Резюме: Каскадно управление на многосвързан топлинен обект, с цел постигане на по-голямо бързодействие, добро отработване на смущенията и намаляване на пререгулирането. Лабораторният стенд на топлинния обект се състои от четири термично свързани модула (три с нагревател и един с вентилатор за охлаждане) – четири входа и четири изхода. Управява се с PLC. Реализира се система за управление (на някои от обектите), включваща разработване на регулатори, система за автоматична настройка и записи от процесите.

Ключови думи: каскадно управление, многосвързан топлинен обект, управление с PLC, регулатори, система за автоматична настройка.

CASCADE CONTROL OF A MULTI INPUT AND MULTI OUTPUT (MIMO) THERMAL CONTROL SYSTEM

Anna Georgieva, Georgi Ruzhekov

Abstract: Cascade control of a “Multi Input and Multi Output (MIMO) Thermal Control System” is developed for better speed, better reduction of noise, lower overshoot. The thermal object consists of 4 thermally connected modules (three with a heater and one with a cooler), which is a MIMO object – 4 inputs and 4 outputs. The control system is realized with CPU and contains developing of PID control, Autotune system, history data.

Key words: Cascade control, “Multi Input and Multi Output (MIMO) Thermal Control System”, PLC control, controllers, Autotune.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Обекти, характеризиращи се с много входове и изходи, със съществено влияние между отделните контури, са доста често срещани в съвременната индустрия. Честа практика е да се използват едноконтурни ПИД регулатори, като се приема, че при стабилизация на някой от контурите и другите ще се стабилизират. Това решение е постижимо чрез настройки и се постига задоволително качество на процесите, но поради факта, че индустриалните системи работят в много различни режими и конфигурации, настройките на регулатора трябва да се променят всеки път.

Перспективна алтернатива, която предлага надеждност и удобство на обслужването на системата за управление, е разкриването на източници за допълнителна текуща информация за състоянието на обекта с по-малка инерционност по отношение на доминиращото смущаващо въздействие от изходния сигнал. Системи с относително бавна динамика, позволяващи работата им да се раздели на два процеса, се наричат каскадни системи.

За реализация на каскадна система е необходимо:

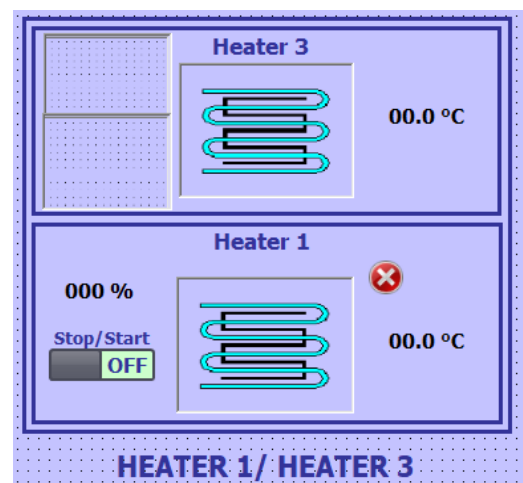
- Процесът да може да се раздели на две части, които да имат пряко влияние по между си.
- Всеки контурен цикъл да се управлява чрез подходящо избран тип регулатор, като единият е главен, а другият подчинен. Необходимо е допълнително провеждане на процедура, чрез която да се изчислят коефициентите на всеки един от регулаторите.
- За да се гарантира устойчивост на системата, динамиката на вътрешния контур трябва да бъде значително по-бърза от тази на външния – минимум 3-5 пъти .

Каскадното управление се счита за напреднала стратегия за управление, то се предпочита поради това, че се подобрява способността на бавния контур да реагира на смущения, като се възползва от динамиката на по-бързия. Друго предимство при използването на каскадното управление е по-голямото бързодействие на процесите. Главен недостатък на този тип управление спрямо едноконтурното е необходимостта от реализирането на допълнителен регулатор, което прави този подход за управление по-сложен. Не всеки процес може да се разграничи по такъв начин, че да се изпълнява условието за по-бърза динамика на вътрешния контур, което прави каскадното управление не винаги приложимо [1][2][3][4][5][6].

2. СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА



Фиг. 1. Табло за управление и термичен обект



Фиг. 2. Термичен обект – схематично изображение от SCADA

Системата, показана на фиг. 1, се състои от две части – термичен обект и табло за управление. Термичният обект се състои от 4 модула, на всеки един от тях е монтиран терморезистор (Pt100), на три от тези модули са монтирани нагреватели и на четвъртия – вентилатор. Така подредени четирите модула са термично свързани, поради това се осигурява взаимно влияние между тях. Таблото за управление се състои от Програмируем Логически Контролер Simatic S7-1500 CPU 1511C, блок електронни преобразуватели за измерване на температура, силови модули за управление на нагревателите и охладителя и захранващи блокове.

Скоростта на въртене на вентилатора се задава с коефициента на запълване на сигнал с честота 25 kHz, който се генерира от контролера. Вентилаторът генерира импулсен сигнал, пропорционален на скоростта на въртене, което дава възможност за измерването ѝ. Управлението на трите нагревателя се осъществява с електронни релета (Solid State Relay, SSR) SSR1 – Нагревател 1 и SSR2 – Нагреватели 2 и 3. Тези електронни релета се включват при преход през 0, поради което минималното време на включване е 10ms. (при захранване 50Hz). За управлението на мощността се използва Широкоинно-Импулсна Модулация (ШИМ, Pulse With Modulation – PWM) като е избран период $T_{PWM} = 1s$. В този случай коефициентът на запълване е $K_{PWM} = [0 - 100]$, % тоест за управление на мощността на нагревателя се използват 100 дискретни стойности.

Разработен е софтуер за каскадно управление на два от нагревателите (Нагревател 1 и Нагревател 3). Чрез подаване на управляващ сигнал на Нагревател 1 се контролира температурата на Нагревател 3. Разработването на софтуера се извършва в среда на TIA Portal V15 и MATLAB/Simulink. В среда на TIA Portal се извършва разработването на програмното осигуряване за PLC и SCADA, а в MATLAB/Simulink се обработват получените данни [1][2][3].

3. ПРОГРАМНА СИСТЕМА

На базата на данни за обекта, получени от [2], са проведени експерименти с модел от III-ти ред без закъснение на обекта в среда на MATLAB/Simulink.

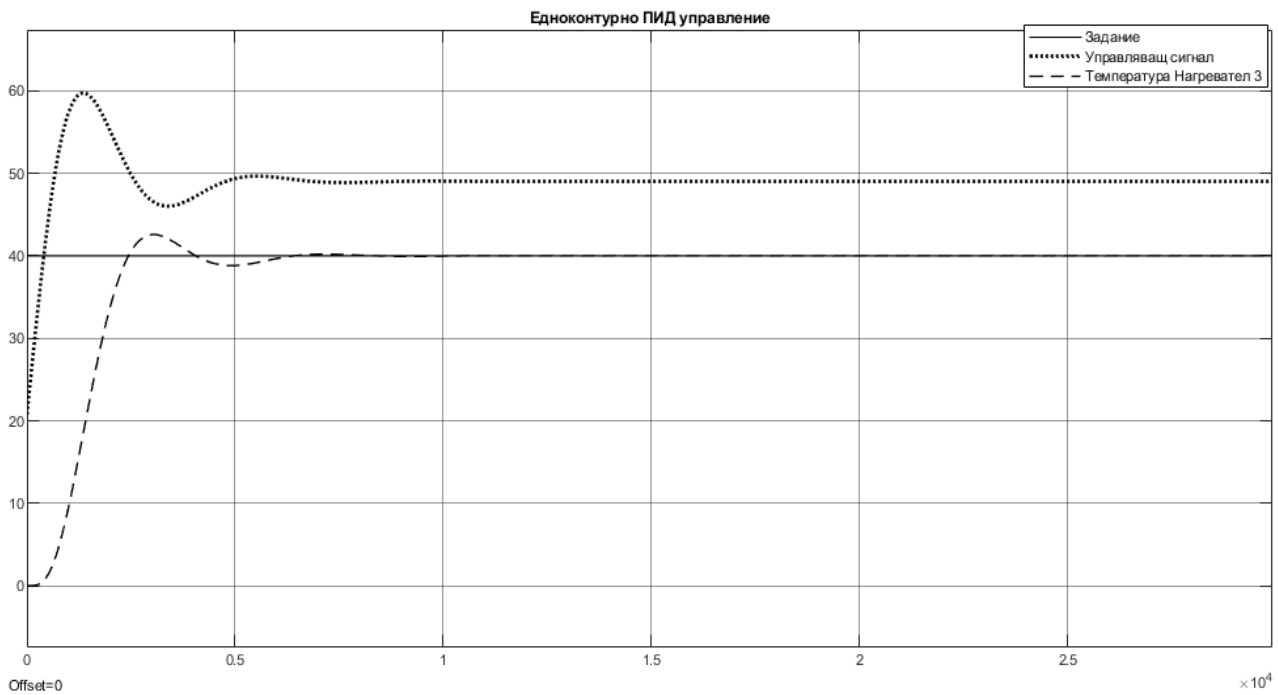
Реализирано е едноконтурно управление с ПИД регулатор с антинтегрално насищане и филтър на „Д“ съставката и обект представляващ общ модел на Нагревател 1 и Нагревател 3. Проведена е настройка на параметрите на регулатора по метода на Острьом-Хагlund [7][8].

На Фиг. 3 е показана структурната схема на едноконтурно управление с ПИД регулатор.



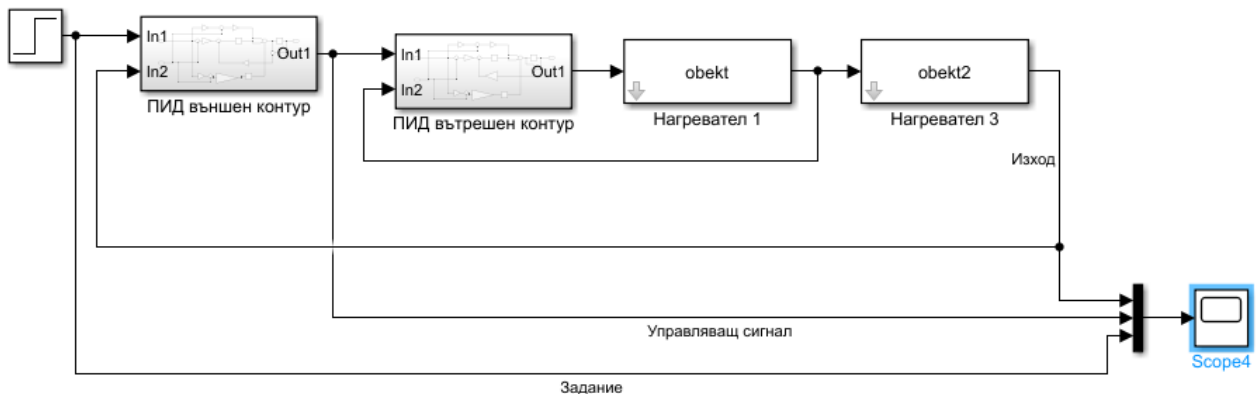
Фиг. 3. Едноконтурно ПИД управление – структурна схема

На Фиг. 4 е показан резултатът от едноконтурното ПИД управление на модела на обекта.



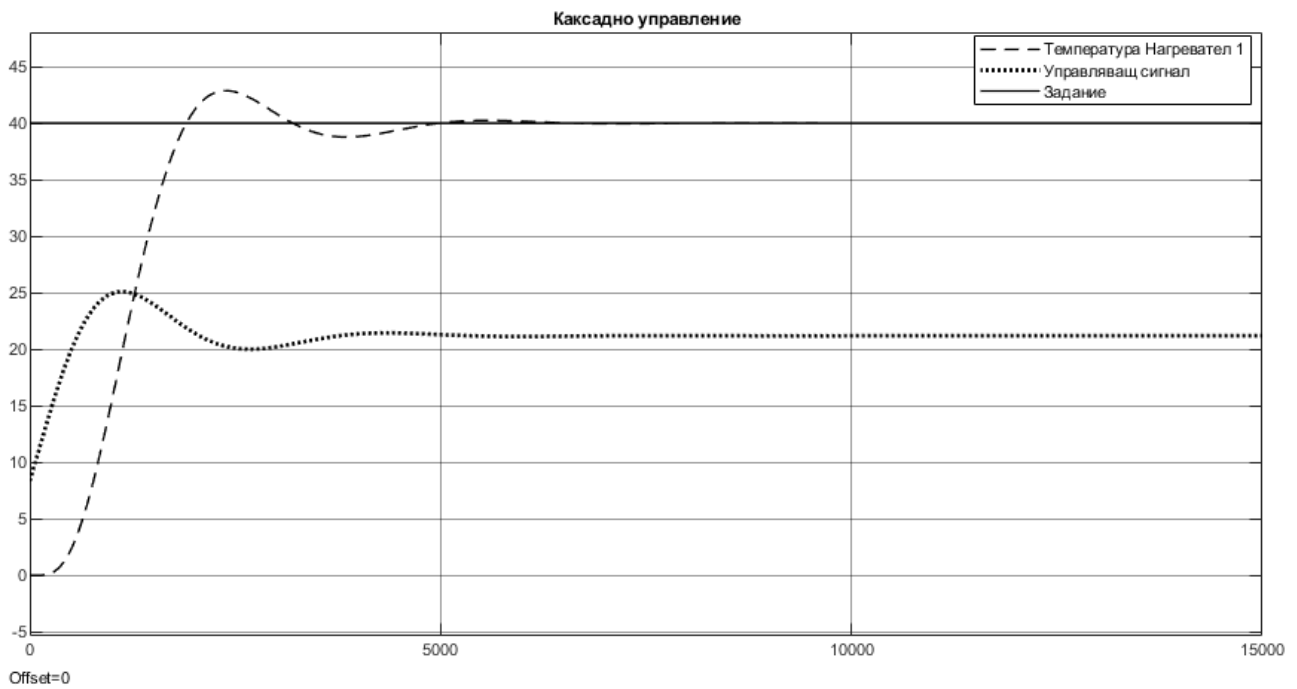
Фиг. 4. Едноконтурно ПИД управление на Нагревател 1 & Нагревател 3

Реализирано е двуконтурно каскадно управление на модел на обекта. Направена е настройка първо на вътрешния контур по метода на Острьом-Хагlund, след това и на външния контур по същия метод. На Фиг. 5 е показана структурната схема на каскадната система [7][8].



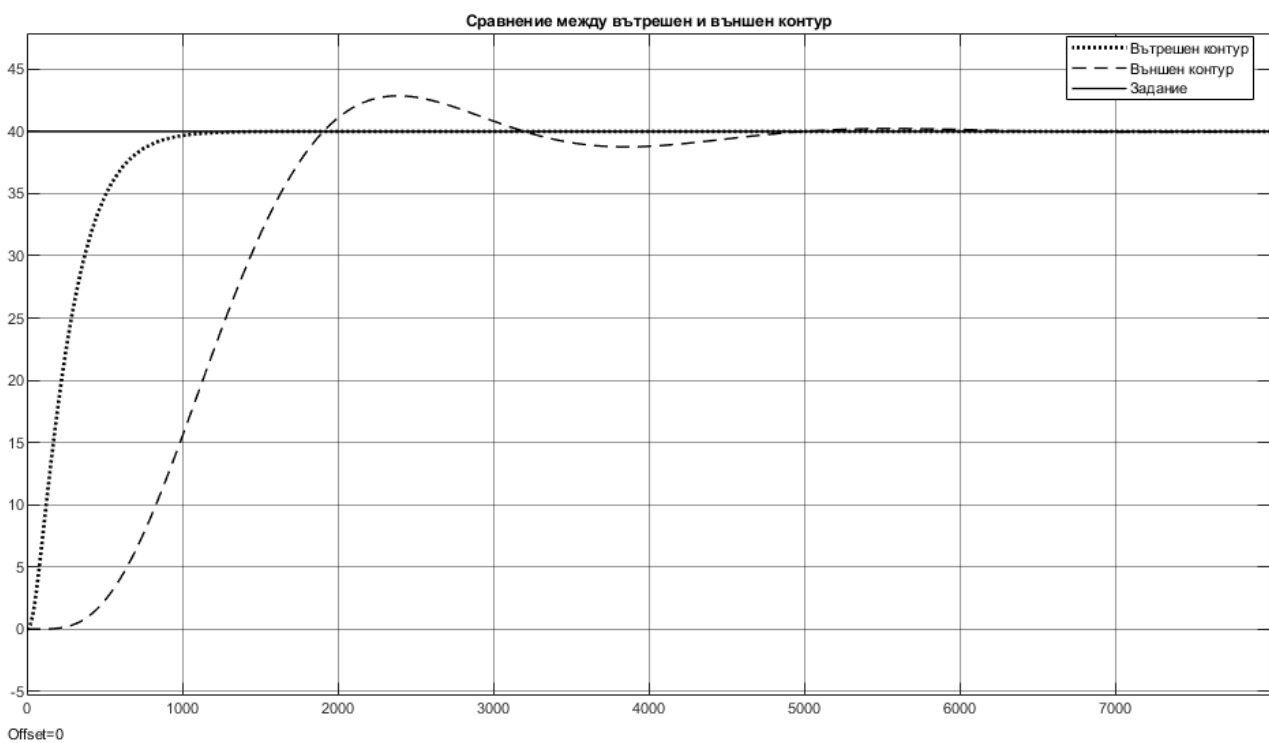
Фиг. 5. Каскадно управление – структурна схема

На Фиг. 6 е показан резултатът от каскадното управление на модела.



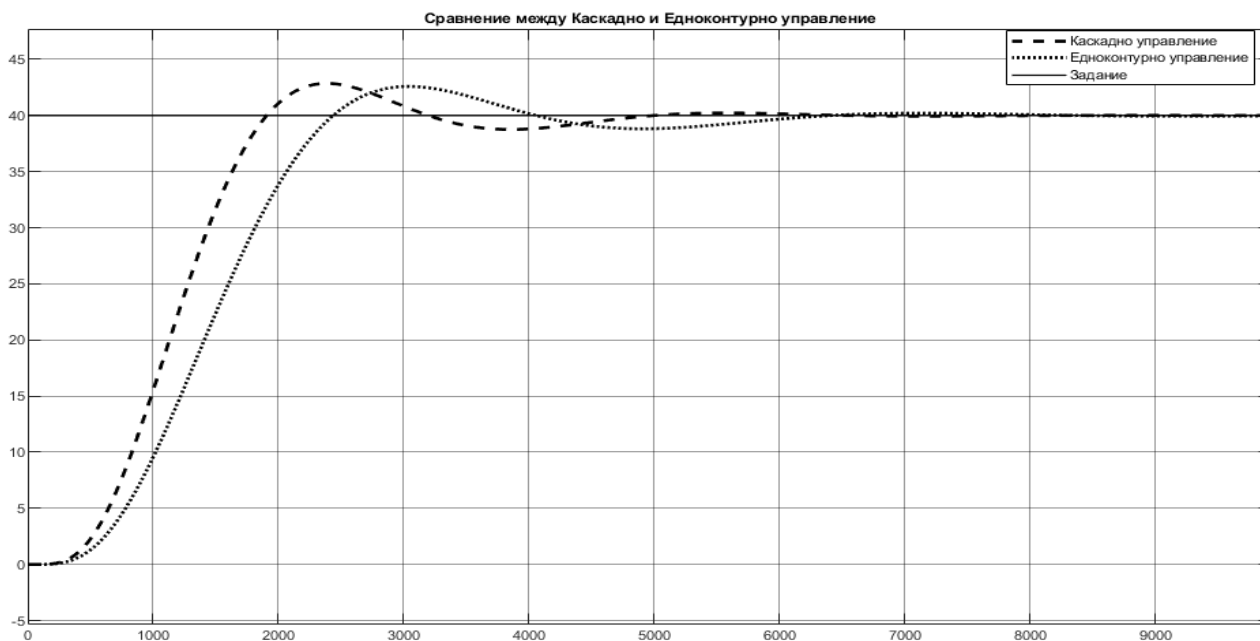
Фиг. 6. Каскадно управление

На Фиг. 7 е направено сравнение между вътрешния и външния контур на каскадната система, с което се доказва, че условието за по-бърз вътрешен контур е изпълнено и е гарантирано устойчивото управление на обекта.



Фиг. 7. Сравнение между вътрешен и външен контур

На Фиг. 8 е направено сравнение между едноконтурно ПИД управление и каскадно управление.

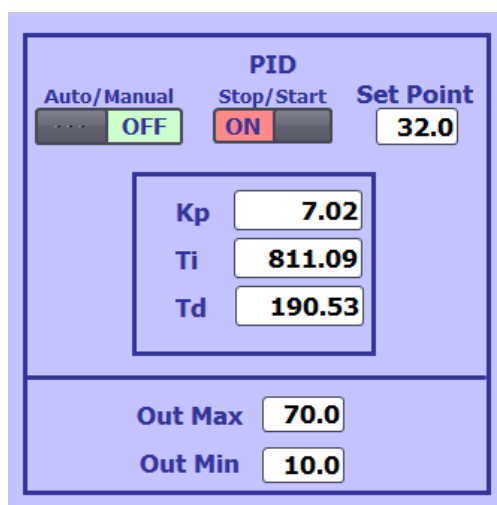


Фиг. 8. Сравнение между едноконтурно и каскадно управление в среда на MATLAB/Simulink

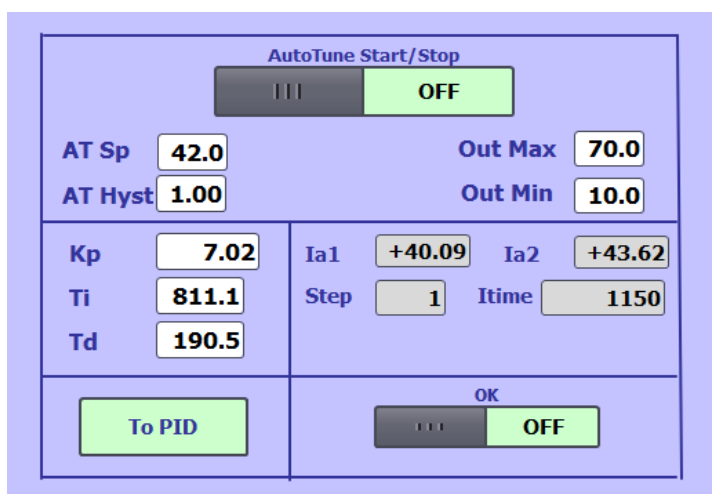
Както се вижда от получената графика, каскадното управление има по-голямо бързодействие.

Реализиран е софтуер в среда на TIA Portal, чрез който се осъществява едноконтурно и каскадно управление на реалният обект.

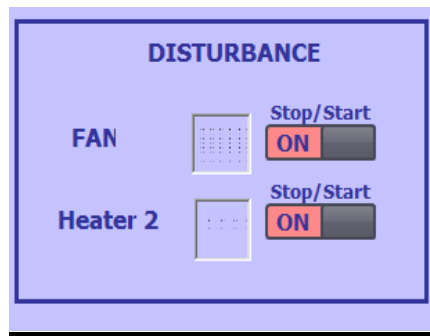
При осъществяването на едноконтурното управление е проектиран ПИД регулатор с антиинтегрално насищане, филтър на „Д“ съставката, противоударно преминаване от ръчен в автоматичен режим и обратно, аутотюн за автоматична настройка на параметрите на регулатора по метода на Острьом-Хагlund (капатау метод), система за запис на данни, панел за добавяне на смущения и трендове за следене на управлението и температурата на нагревателите в реално време.



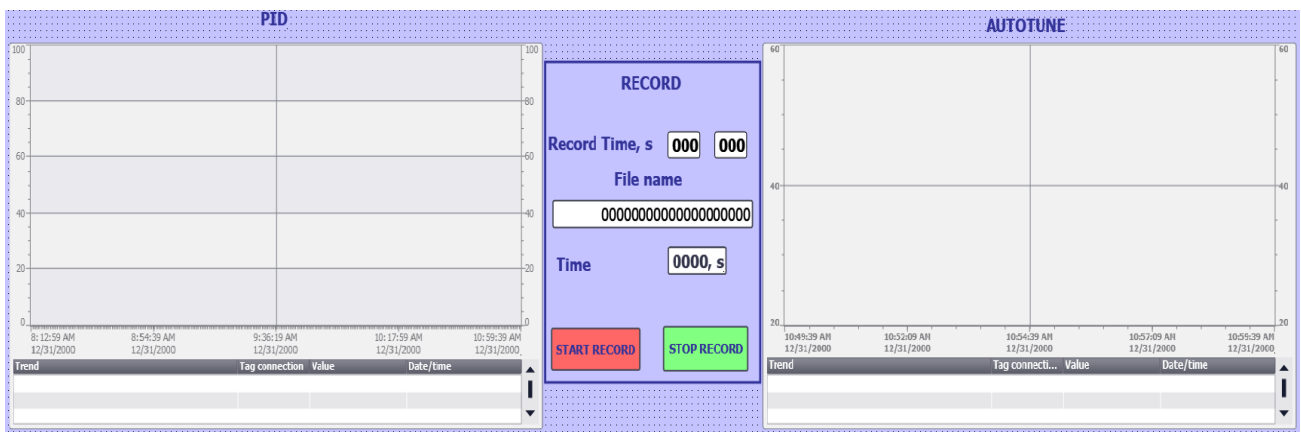
Фиг. 9. ПИД регулатор



Фиг. 10. Аутотюн по метода на Острьом-Хагlund

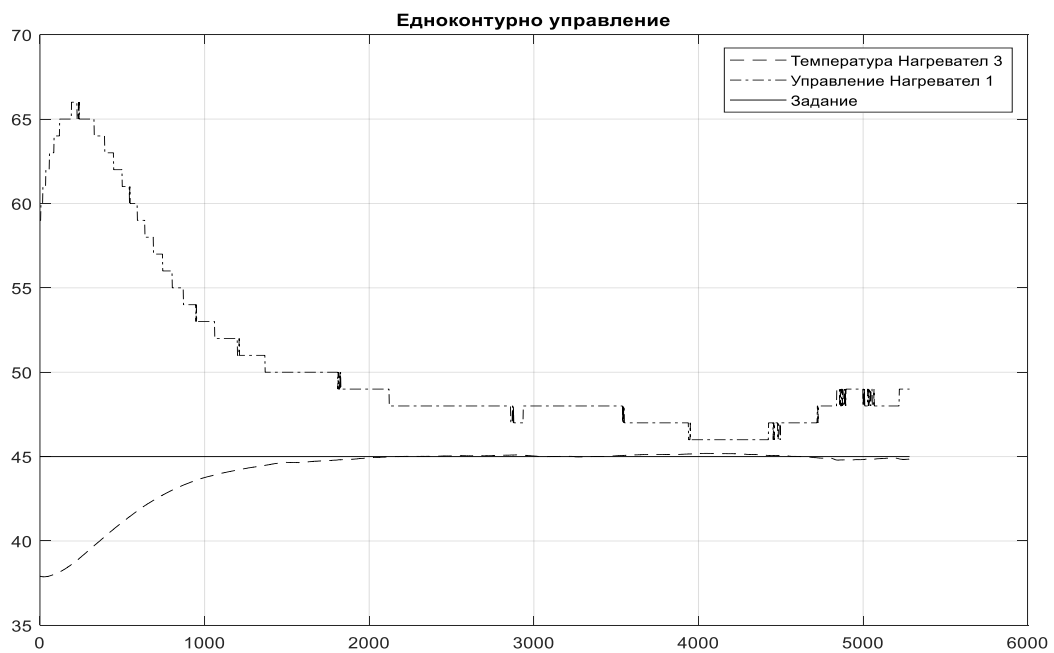


Фиг. 11. Панел за смущения



Фиг. 12. Система за запис на данни и трендове за визуализация на температура и управление

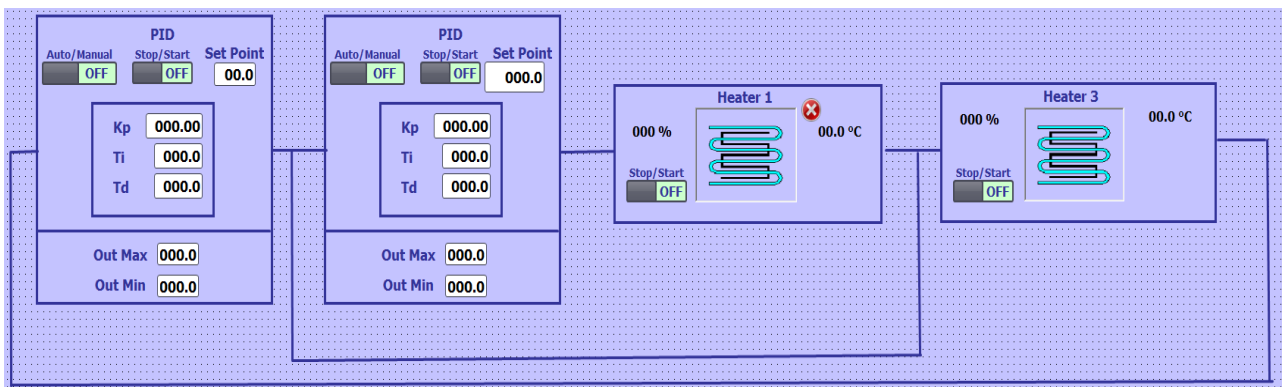
На Фиг. 13 е показан резултат от едноконтурно ПИД управление на реалния обект.



Фиг. 13. Едноконтурно ПИД управление

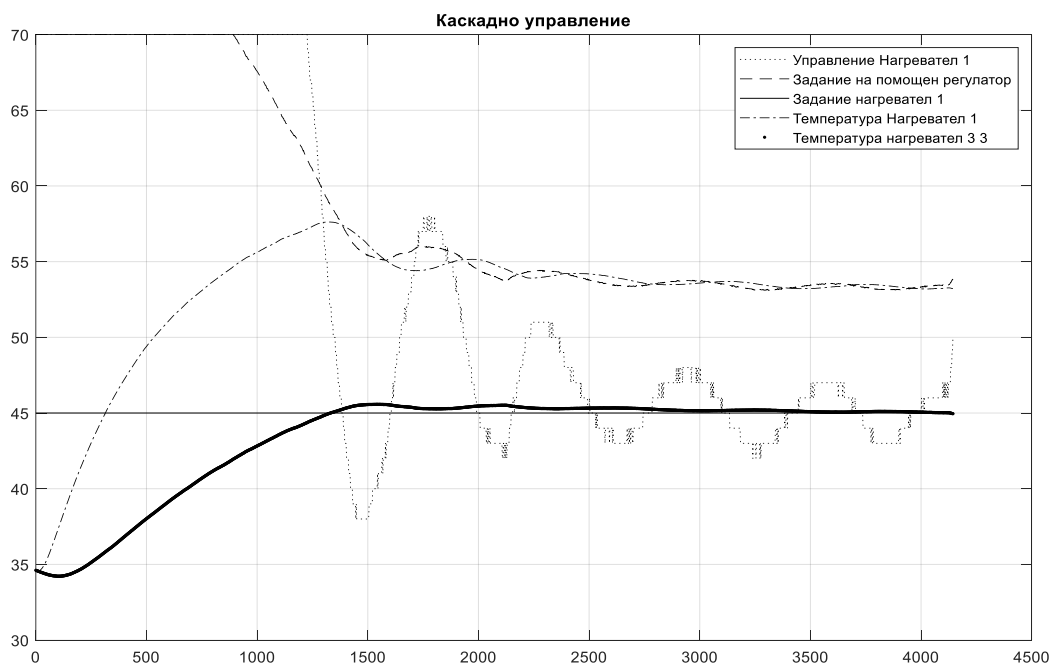
При разработването на каскадното управление са направени панели за два ПИД регулатора, панел за допълнително внасяне на смущения по време на процеса, аутоюн настройка по метода на Острьом-Хагlund за изчисляване на параметрите на двата регулатора, система за запис на данни и трендове за следене на управлението и температурите на двата нагревателя. Извършена е настройка първо на вътрешния контур, намерени са коефициентите на помощния регулатор, след това е направена настройка на външния контур и са намерени коефициентите на главния регулатор. Проведени са експерименти с внасяне на допълнително смущение.

На Фиг. 14 е показан общият вид на каското управление в SCADA системата.



Фиг. 14. Каскадна система

На Фиг. 15 е показан резултатът от каскадното управление в реално време на температурният обект.



Фиг. 15. Каскадно управление в реално време

Проведени са експерименти с двата вида управление на реалния обект, при които в системата се внасят допълнителни смущения. Смущенията са два вида: охлаждащо, което се реализира чрез поставеният на стенда вентилатор, и нагряващо, реализирано чрез намиращият се на стенда Нагревател 2. При еднакви условия на двата вида управление е добавено смущение $\pm 5^{\circ}C$, съответно охлаждане и нагряване. В Табл. 1. са представени резултатите от тези експерименти.

Табл. 1. Резултати от проведен експеримент със смущения

Вид управление	Време за установяване на преходния процес	Време за отработване на допълнително охлаждащо смущение	Време за отработване на допълнително нагряващо смущение
Едноконтурно	2000 сек.	3452 сек.	2800 сек.
Каскадно	1500 сек.	2334 сек.	1864 сек.

От данните в таблицата се вижда, че каскадното управление дава по-добри резултати. Времето за установяване на системата при каскадното управление е по-малко от това при едноконтурно управление и смущенията се отработват по-бързо.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведени са експерименти в среда на MATLAB\Simulink с модел на обекта. Реализирано е едноконтурно ПИД управление с настройка на коефициентите на регулатора посредством метода на Острьом-Хаглунд и е показан резултат от управлението на модела.

Реализирано е каскадно управление в среда на MATLAB\Simulink с модел на обекта, чрез настройка на вътрешен и външен контур по метода на Острьом-Хаглунд и е показан резултат от управлението на модела.

Разработен е проект в среда на TIA Portal, с цел управление на реалния температурен обект. Създаден е графичен интерфейс съдържащ трендове за следене на температура и управление, система за запис на данни, контролни панели за регулаторите, контролен панел за автоматична настройка на коефициентите на регулаторите и контролен панел за допълнително смущение.

Реализирано е едноконтурно ПИД управление на температурния обект в среда на TIA Portal и са проведени експерименти с допълнително внасяне на смущения.

Реализирано е каскадно управление в среда на TIA Portal с настройка на вътрешен и външен контур и са проведени допълнителни експерименти с внасяне на допълнителни смущения.

Направено е сравнение между двата типа управление и е доказано, че каскадният подход дава по-добри резултати.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Раков, Г. Ружеков, Научен отчет етап 1: Разработване на система за управление на многосвързан обект № 172ПД0015-08, НИС, ТУ-София, 11.2017
- [2] Б. Раков, Г. Ружеков, Научен отчет етап 2: Разработване на система за управление на многосвързан обект № 172ПД0015-08, НИС, ТУ-София, 06.2018
- [3] Б. Раков, Г. Ружеков, Експериментална система за управление на лабораторен модел-Многосвързан обект, Годишник на Технически Университет-София, том 68, книга 2, 2018, стр. 315-324.
- [4] Емил М. Гарипов, Цифрови системи за управление – Проектиране на ПИД регулатори, ТУ-София, 2007г.
- [5] М. Хаджийски, К. Велев, Г. Сотиров, И. Калайков, Методи и алгоритми за управление“, Техника, София 1992г.
- [6] Х. Хинов, К. Наплатаров, Автоматизация на технологични процеси, Техника, София, 1991г.
- [7] Application Description 02/2015 – Single and Multi Loop Controller Structures (Cascade Control) with PID_Temp, Siemens, 02.2015.
- [8] Application Description 08/2019 – Single and Multi Loop Controller Structures (Cascade Control) with PID_Temp, Siemens, 08.2019

Автори: *Анна Георгиева*, бак. инж., Технически университет-София, Факултет Автоматика, катедра Системи и управление,
e-mail: angeorgieva@tu-sofia.bg;

Георги Ружеков, доц. д-р, Технически университет-София, Факултет Автоматика, катедра Системи и управление,
e-mail: g_ruzhekov@tu-sofia.bg

Authors: *Anna Georgieva*, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, dept. Systems and Control,
e-mail: angeorgieva@tu-sofia.bg;

Assoc. prof. Dr. Georgi Ruzhekov, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, dept. Systems and Control,
e-mail: g_ruzhekov@tu-sofia.bg