



ISSN 1311-0829

ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

том 69, книга 2, 2019

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ АВТОМАТИКА'2019, ФА
ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА
31.05-3.06.2019, Созопол, България



PROCEEDINGS OF TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

Volume 69, Issue 2, 2019

INTERNATIONAL CONFERENCE AUTOMATICS'2019, FA
FACULTY OF AUTOMATICS
31.05-3.06.2019, Sozopol, Bulgaria

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

главен редактор

проф. дТН Емил НИКОЛОВ

зам. главен редактор

проф. дТН Елена ШОЙКОВА

членове

проф. дТН Георги ПОПОВ

проф. дТН Иван КОРОБКО

проф. дФН Иван УЗУНОВ

проф. дТН Иван ЯЧЕВ

проф. дТН Кети ПЕЕВА

проф. дТН Ганчо БОЖИЛОВ

проф. дТН Евелина ПЕНЧЕВА

проф. д.и.н. Младен ВЕЛЕВ

проф. д-р Бончо БОНЕВ

проф. д-р Иво МАЛАКОВ

проф. д-р Огнян НАКОВ

секретар-организатор

инж. Мая СТОЙЧЕВА

EDITORIAL BOARD

Editor -in -Chief

Prof. D.Sc. Emil NIKOLOV

Editor -in -Vice -Chief

Prof. D.Sc. Elena SHOYKOVA

Editors

Prof. D.Sc. Georgi POPOV

Prof. D.Sc. Ivan KOROBKO

Prof. D.Sc. Ivan UZUNOV

Prof. D.Sc. Ivan YACHEV

Prof. D.Sc. Keti PEEVA

Prof. D.Sc. Gantcho BOJILOV

Prof. D.Sc. Evelina PENCHEVA

Prof. D.Sc. Mladen VELEV

Prof. Ph.D. Boncho BONEV

Prof. Ph.D. Ivo MALAKOV

Prof. Ph.D. Ognyan NAKOV

Organizing Secretary

Eng. Maya STOYCHEVA

Технически университет-София
София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8
България <http://tu-sofia.bg>

Technical University of Sofia
Sofia, 1000, boul. Kliment Ohridski 8
Bulgaria <http://tu-sofia.bg>



© Технически Университет-София
© Technical University of Sofia
All rights reserved

ISSN 1311-0829

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА

форум

„ДНИ НА НАУКАТА НА ТУ-СОФИЯ“ Созопол'2019

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ

АВТОМАТИКА'2019, ФА

Созопол 31.05-3.06.2019

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

почетен председател

проф. д-р Емил Николов (BG)

председател

доц. д-р Нина Николова (BG)

членове

проф. д-р	Петко Петков	(BG), проф. д-р	Хасан Абуайса	(FR)
проф. д-р	Тодор Йонков	(BG), проф. д-р	Даниел Жоли	(FR)
проф. д-р	Снежана Йорданова	(BG), проф. д-р	Жил Гонкалвес	(FR)
проф. д-р	Валери Младенов	(BG), проф. д-р	Николай Христов	(FR)
проф. д-р	Емил Гарипов	(BG), проф. д-р	Стефан Козак	(SK)
проф. д-р	Пламен Цветков	(BG), проф. д-р	Алена Козакова	(SK)
проф. д-р	Живко Георгиев	(BG), проф. д-р	Даница Росинова	(SK)
проф. д-р	Михо Михов	(BG), доц. д-р	Снежана Терзиева	(BG)
доц. д-р	Васил Гълъбов	(BG), доц. д-р	Теофана Пулева	(BG)

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

председател

доц. д-р Владислав Славов

зам. председател

гл. ас. д-р Антония Панделова

членове

гл. ас. д-р Владимир Христов

доц. д-р Станислав Енев

ТЕХНИЧЕСКИ КОМИТЕТ

координатор

гл. ас. д-р Антония Панделова

системен администратор

гл. ас. д-р Александър Маринчев

организационен секретар

инж. маг. Мая Стойчева

TECHNICAL UNIVERSITY - SOFIA

FACULTY OF AUTOMATICS

Forum

„DAYS OF SCIENCE OF TU-SOFIA“ Sozopol'2019

FACULTY OF AUTOMATICS

INTERNATIONAL CONFERENCE

AUTOMATICS'2019, FA

31.05-3.06.2019, Sozopol, Bulgaria

PROGRAM COMMITTEE

honorable chair of PC

Prof. DSc Emil Nikolov (BG)

chair of PC

Assoc. Prof. PhD Nina Nikolova (BG)

members of PC

Prof.	DSc	Petko	Petkov	(BG),	Prof.	DSc	Hassane	Abouaïssa	(FR)
Prof.	PhD	Todor	Ionkov	(BG),	Prof.	DSc	Daniel	Jolly	(FR)
Prof.	DSc	Snejana	Yordanova	(BG),	Prof.	DSc	Gilles	Gonçalves	(FR)
Prof.	PhD	Valeri	Mladenov	(BG),	Prof.	DSc	Nicolai	Christov	(FR)
Prof.	PhD	Emil	Garipov	(BG),	Prof.	DSc	Stefan	Kozak	(SK)
Prof.	PhD	Plamen	Tzvetkov	(BG),	Prof.	DSc	Alena	Kozáková	(SK)
Prof.	PhD	Jivko	Georgiev	(BG),	Prof.	DSc	Danica	Rosinova	(SK)
Prof.	PhD	Mikho	Mikhov	(BG),	Assoc.Prof.	PhD	Snejana	Terzieva	(BG)
Assoc.Prof.	PhD	Vasil	Galabov	(BG)	Assoc.Prof.	PhD	Teofana	Puleva	(BG)

ORGANIZING COMMITTEE

chair of OC

Assoc. Prof. PhD Vladislav Slavov

vice chair of OS

Assist. Prof. PhD Antonia Pandelova

members of OC

Assist. Prof. PhD Vladimir Hristov

Assoc. Prof. PhD Stanislav Enev

TECHNICAL COMMITTEE

coordinator

Assist. Prof. PhD Antonia Pandelova

system administrator

Assist. Prof. PhD Alexandar Marinchev

organizing secretary

Emg. Mag. Maya Stoycheva

МНОГОМЕРНО ПИД УПРАВЛЕНИЕ НА ЛАБОРАТОРЕН МОДЕЛ „МНОГОСВЪРЗАН ОБЕКТ“

Георги Ружеков, Божидар Раков

Резюме: Разработено е три-мерно ПИД управление на многосвързан обект. Разработена е система за автоматична настройка на регулаторите. Използва се подхода за независим синтез, при който се извършва статична компенсация на кръстосаните връзки. Термичният обект представлява четири термично свързани модула (три с нагревател и един с вентилатор за охлаждане), който представлява многосвързан обект с четири входа и с четири изхода. В случая се управляват трите модула с нагревател, а модулет с вентилатор се използва за създаване на товарни смущения. Обекти с подобни характеристики са разпространени в индустрията.

Ключови думи: Лабораторен стенд, Многомерен ПИД-регулатор, Програмируем логически контролер, SCADA.

MULTIVARIABLE PID CONTROL OF LABORATORY MODEL “MULTI INPUT AND MULTI OUTPUT (MIMO) PLANT”

Georgi Ruzhekov, Bozhidar Rakov

Abstract: Multivariable PID control of MIMO thermal object has been designed. A system for auto-tuning of PID parameters has been developed. The independent design approach is used with static compensation. The thermal plant consists of four thermally connected modules (three with a heater and one with a cooler), which is a MIMO object with four inputs and four outputs. In this study, the three heater modules are controlled and the fan module is used to create load disturbances. Objects with similar characteristics are spread in the industry.

Key words: Laboratory stand, Multi-dimensional PID, Programmable logic controller, SCADA.

1. УВОД

В индустрията често се срещат обекти с много входове и изходи, при които има съществено влияние между отделните контури. В голяма част от проучените реализации на подобни системи за управление се използват едноконтурни ПИД-регулатори, като се пренебрегват взаимните влияния между контурите и се разчита, че при стабилизация на някой от контурите и другите ще се стабилизират. Обикновено се постигат настройки, при които се получава задоволително качество на процесите. Особеност на индустриалните системи е, че те работят в

много различни режими и конфигурации, при което настройките на регулаторите трябва да се променят или донастроят всеки път. Тази особеност прави много трудно приложимо многомерното управление, при което за изчисляване на матриците на регулатора е необходимо провеждане на задълбочена идентификационна процедура (не винаги е възможна поради технологични ограничения), сложни изчисления, симулации и едва тогава може да се пристъпи към прехвърляне на данните към системата за управление. За извършване на изчисленията е необходима мощна компютърна система и съответните математически библиотеки, докато индустриалните системи за управление използват Програмируеми Логически Контролери (ПЛК), които не са предназначени за такива изчисления. Много трудно, на практика е невъзможно, в процес на работа да се направят донастройки на регулаторите.

За индустрията е нужно да се създадат евтини решения, лесни за първоначална настройка, лесна донастройка регулатори. Разработеният многомерен ПИД-регулатор отговаря на тези изисквания:

Разработеният метод за автоматична настройка е:

- Лесен за прилагане;
- Бърз;
- Има ясен физически смисъл;
- Не изисква мощна компютърна система и специализиран софтуер, а използва само контролера на системата;
- Не е необходимо изчисленията да се извършват с много висока точност – напълно достатъчна е стандартната 32 битова математика с плаваща запетая – IEEE32.

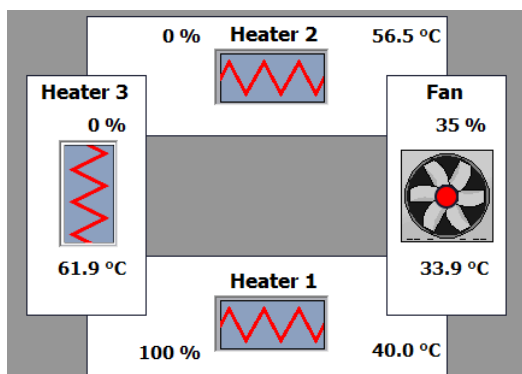
Параметрите на ПИД-регулаторите:

- Имат ясен физически смисъл и са лесно разбираеми от операторите на инсталациите;
- Донастройката може да бъде извършена много лесно;
- Изключително евтино решение – не оскъпява системата за управление;
- Могат да се използват съществуващи ПИД-регулатори (хардуерни или библиотечни функции);
- Могат да се използват вградените в регулаторите функции за самонастройка.

2. СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА

Подробно описание на лабораторния стенд може да бъде намерено в [2]. Той симулира работата на термичен обект, който е много характерен за реалните индустриални системи. Конструиран е от две отделни части - термичен обект и табло за управление. Термичният обект се състои от четири модула, на всеки от които е монтиран термосензор (Pt100), на три от тях са монтирани нагреватели, а на четвъртия - вентилатор за охлаждане. Четирите модула са термично свързани (фиг.1 - схематично изображение и снимка на системата), при което се осигурява взаимното влияние между тях. Конструкцията позволява промяна на конфигурацията на обекта, което променя и неговите параметри.

Таблото за управление е реализирано с 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.



Фиг.1.а. Термичен обект -схематично изображение от SCADA системата

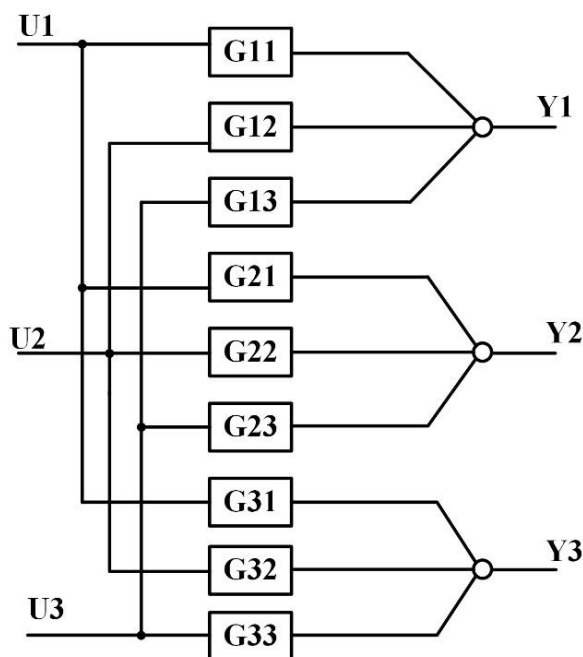


Фиг.1.б. Снимка на системата - табло за управление и термичен обект

Структурата на системата е показана на фиг.2, където:

G_{xx} , $x = 1, 2, 3$ са предавателните функции на правите канали;

G_{xy} , $x = 1, 2, 3$; $y = 1, 2, 3$, $x \neq y$ са предавателните функции на кръстосаните канали.



Фиг.2. Структурна схема на обекта за управление

Идеята на синтеза е базирана на методиката за независим синтез [1]. Същността му се изразява в настройка на n на брой независими управляващи устройства при наличие на някакви ограничения, наложени от връзките между отделните контури на обекта [6]. При този подход възникват два основни проблема. Кол-

кото по-силно е влиянието между контурите, толкова по-консервативни ще са получените ПИД-регулатори. В допълнение липсата на информация за управляващите устройства в останалите контури също би довело до понижено качество на процесите на затворената система за управление. Но за сметка на това предложеният подход осигурява лесна настройка, устойчивост и задоволително качество на затворената система.

Нека обектът за управление се описва с предавателната матрица (1), където m е броят входове, а r е броят изходи. Необходимо е предавателната матрица да е квадратна т.е. $m=r$.

$$G(s) = \begin{vmatrix} G_{11}(s) & \dots & G_{1m}(s) \\ \dots & \dots & \dots \\ G_{r1}(s) & \dots & G_{rm}(s) \end{vmatrix} \quad (1)$$

Извършва се корекция на обекта (2):

$$G_{sh}(s) = G(s).D, \quad (2)$$

където D е постоянна числова матрица, която се намира от (3), [3].

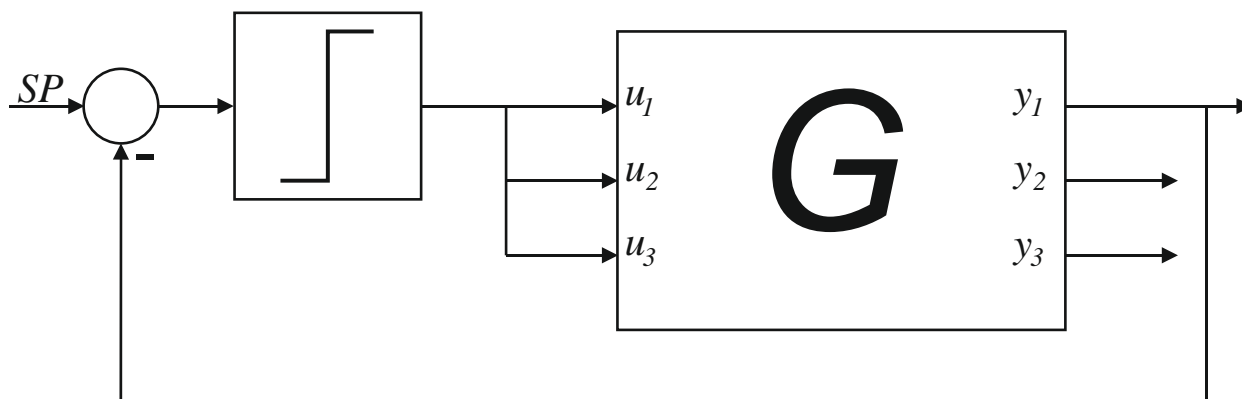
$$D = G^{-1}(0), \quad (3)$$

където $G(0)$ е предавателната матрица на обекта в установен режим.

Коригираният обект $G_{sh}(s)$ се характеризира с липса на връзка в статичен режим между отделните контури на управление. Това води до значително намаляване на влиянието в нискочестотния диапазон за сметка на високочестотния, в многомерния обект, което от своя страна означава, че предавателната матрица на коригирания обект придобива диагонално-доминираща форма в ниските честоти и по-специално единична матрица в статичен режим. За намаляване на високочестотната зависимост може да се използва филтър на изхода на ПИД [3, 7], което да осигури по-голям наклон на амплитудно-честотната характеристика и да направи предавателната функция на регулатора строго правилна. В допълнение не е необходимо да се прави анализ и избор на входно-изходни двойки, което е задължителна първа стъпка при децентрализирано управление. По този начин за всеки контур се използва отделен ПИД-регулатор. За реализация на автоматична настройка на регулатора се използва вторият метод на Астрьом и Хаглунд [4]. Трябва да се отбележи, че е възможно използването и на други методи, базирани на експеримент с релейна обратна връзка. Използва се експеримент в затворен контур с реле, който се извършва съгласно схема, показана на фиг. 3.

При настройка на i -тия контур обратната връзка се затваря по i -тия вход и изход, но управляващият сигнал от релейния елемент се подава към всички входове на обекта. Методиката за независим синтез, описан в [1] е коректна само ако влиянието между контурите е малко. В настоящата работа това условие е

изпълнено с помощта на извършената корекция (2). Възможно е извършване на корекция за определена честота, например срязващата честота, [5]. На фиг.3. е показано свързване за настройка към канал 1.



Фиг.3. Схема за автоматична настройка

3. ПРОГРАМНА СИСТЕМА

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. Разработено е базово програмно осигуряване:

- Физическо ниво – температурни измервания, управление и измерване на скоростта на въртене на вентилатора и управление на мощността на нагревателите.
- Генериране на типови сигнали за провеждане на идентификация - стъпални и псевдо-случайна двоична последователност.
- Система за запис на експериментални данни и експорт към MATLAB.
- OPC сървър за връзка в реално време с MATLAB приложения.
- Система за визуализация на измерваните параметри и заданията по всички канали.
- Система за управление на режимите на работа и задаване на параметрите на регулаторите.

Разработено е и програмно осигуряване в среда на PLC, реализиращо показания метод за независим синтез:

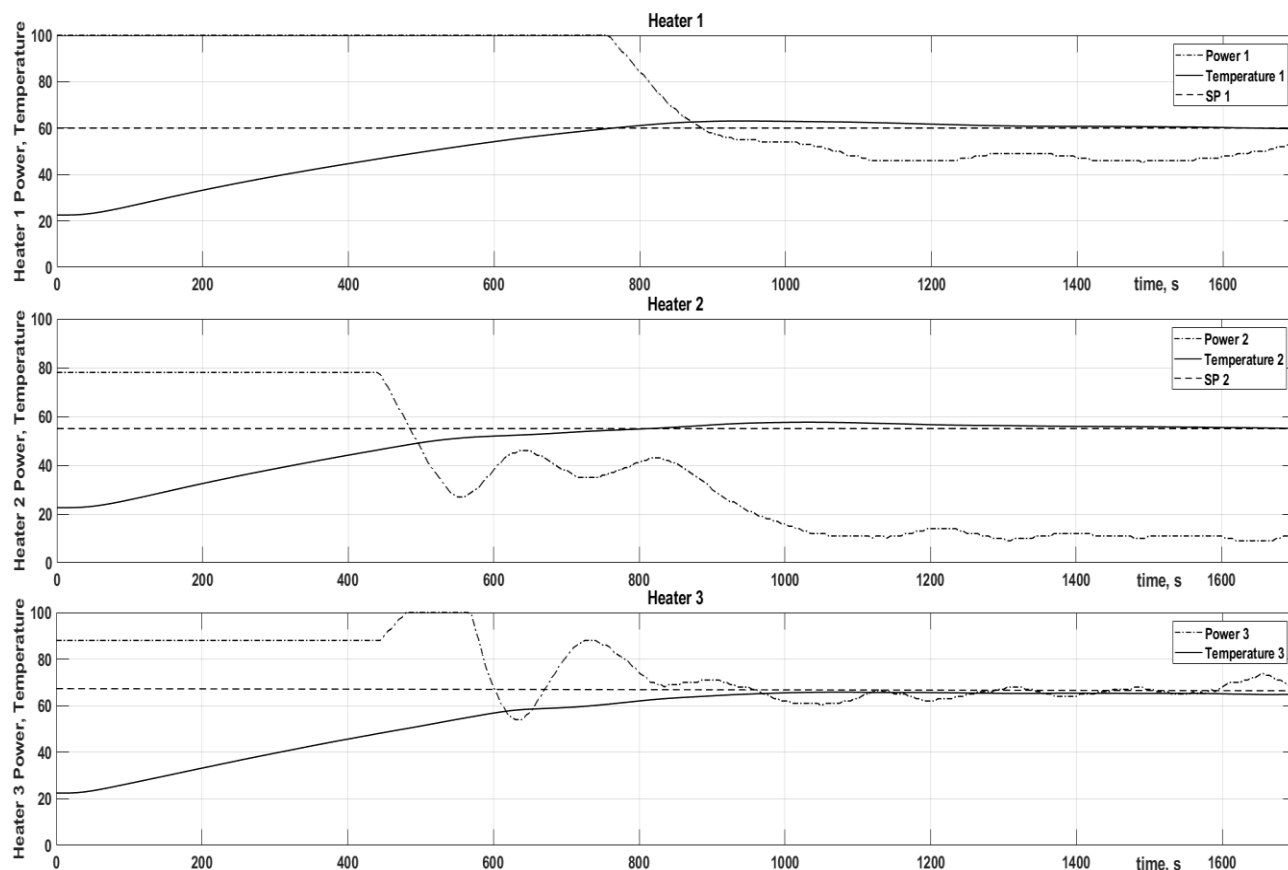
- Планирани експерименти за събиране на данни за изчисляване на $G(0)$ - предавателната матрица на обекта в установен режим.
- Изчисляване на $D = G^{-1}(0)$.
- ПИД-регулатори.
- Блок за автоматична настройка на параметрите, по метода на затворен контур с релейна обратна връзка. Параметрите на регулаторите се изчисляват с втория метод на Астрьом и Хаглунд.

4. ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

На фиг.4 е показан преходен процес за достигане до различни задания на всеки един от модулите.

Наблюдава се малко пререгулиране и достигане до заданията.

На фиг.5 е показана реакция на товарно смущение - включен вентилатор на термичен модул 4 - товарното смущение се отработва много добре и не се наблюдава взаимно влияние между контурите.



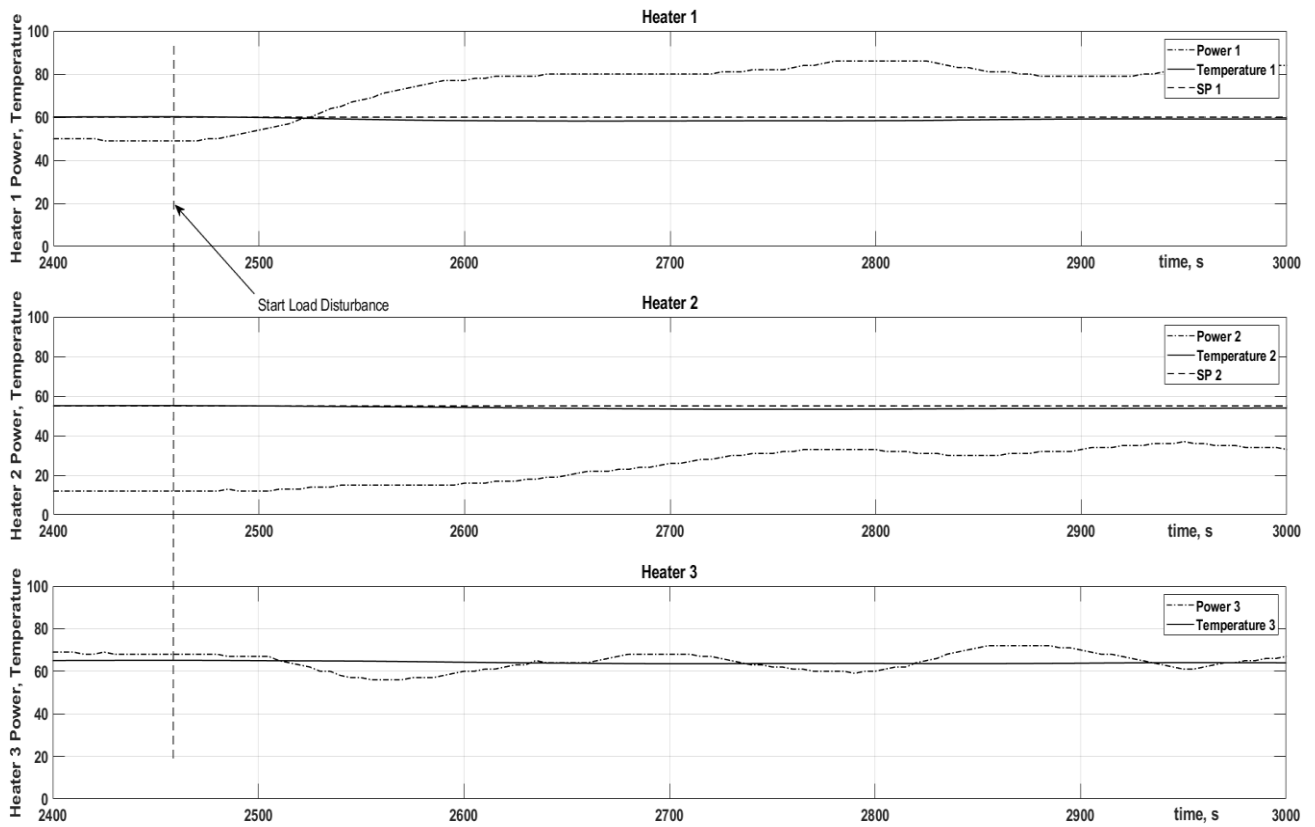
Фиг.4. Преходен процес за достигане до различни задания на всеки един от модулите

На фиг.6 е показана реакция при промяна на заданието (увеличаване и намаляване на температурата) на един от модулите.

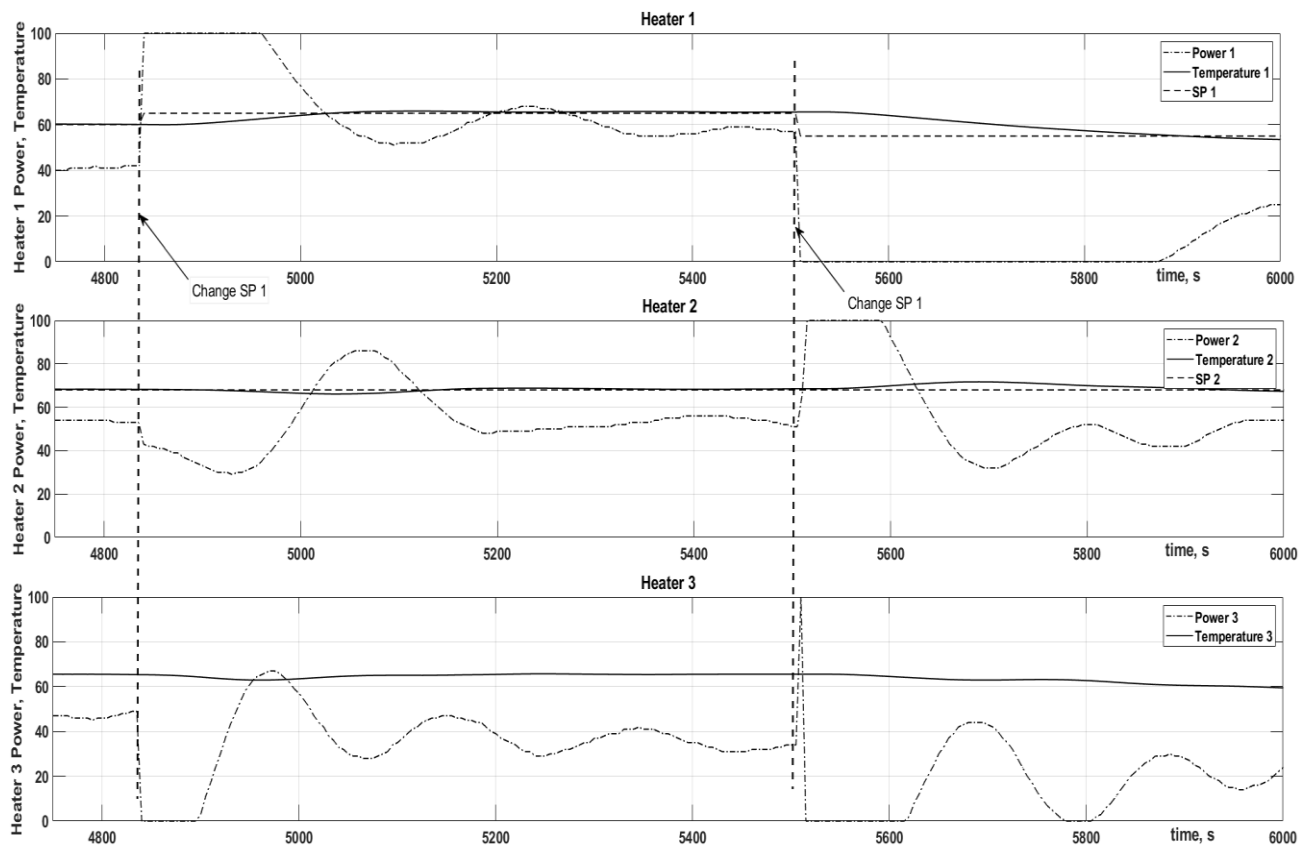
Вижда се моменталната реакция на управлението към останалите два модула, което силно намалява взаимното влияние и преходните процеси приключват много бързо.

Аналогични експерименти са направени и без компенсацията на кръстосаните обратни връзки (с независими ПИД-регулатори).

В този случай системата остава работоспособна, но преходните процеси са много по-бавни и има съществено влияние между отделните канали.



Фиг.5. Реакция на товарно смущение - включен вентилатор



Фиг.6. Реакция при промяна на заданието

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработен е софтуер, който реализира управление на многосвързан лабораторен термичен обект, като се използва компенсация в установен режим на кръстосаните връзки - метод на независимия синтез.
2. Разработен е софтуер, с който се реализира събиране на данни за изчисляване на предавателната матрица на обекта в статичен режим.
3. Реализирана е модификация на метода за автоматична настройка на регулаторите с релейна обратна връзка.
4. Извършени са много реални експерименти - промяна на заданието и товарни смущения, които дават много добри резултати и доказват работоспособността на метода и разработваната система.
5. За сравнение са направени аналогични експерименти с три независими ПИД-регулатори, при което получените преходни процеси са по-бавни и влиянието между отделните канали е съществено.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Раков Б., *Независим синтез на ПИД регулатор за тримерен обект*, Годишник на ТУ-София, том 68, книга 2, 2018.
- [2] Ружеков Г., Б. Раков, *Експериментална система за управление на лабораторен модел „Многосвързан обект“*, Годишник на ТУ-София, том 68, книга 2, 2018.
- [3] Astrom K., Hagglund T. - *Advanced PID Control*, The Instrumentation, Systems, and Automation Society 2006
- [4] Astrom K., Hagglund T. - *PID Controllers: Theory, Design and Tuning 2nd Edition*, Instrument Society of America 1995
- [5] Skogestad S., Postlethwaite I. - *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design 2nd edition*, John Wiley and Sons, 2001
- [6] Skogestad S, Morari M. - *Robust Performance of Decentralized Control Systems by Independent Designs*, Automatica Vol. 25, стр. 119-125, 1989.
- [7] Visioli A. - *Practical PID Control*, Springer 2006

Автори: Георги Ружеков, доц. д-р, катедра „Системи и управление“, Факултет Автоматика, Технически Университет-София, E-mail address: g_ruzhekov@tu-sofia.bg ; Божидар Раков, маг. инж., катедра „Системи и управление“, Факултет Автоматика, Технически Университет-София, E-mail address: brakov@tu-sofia.bg

Постъпила на 18.04.2019 г.

Рецензент: доц. д-р Александър Ищев