



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

ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНО ПИД УПРАВЛЕНИЕ НА МНОГОМЕРЕН АНАЛОГОВ МОДЕЛ НА ОБЕКТ

Кирил Къосев, Божидар Раков, Георги Ружеков

Абстракт: Много често обектите в индустрията са многоконтурни, в които има съществено влияние на между отделните контури. Разработен е аналогов лабораторен модел на обекта с три входа и три изхода, с кръстосани връзки между каналите. Реализирана е система за децентрализирано ПИД-управление с Програмируем Логически Контролер (ПЛК), като се използва метод за компенсация на взаимното влияние между каналите в установен режим.

Ключови думи: Аналогов модел, Програмируем Логически Контролер, Многомерна система за управление, Децентрализирано ПИД-управление, SCADA.

DECENTRALIZED PID CONTROL OF ANALOG MIMO PLANT MODEL

Kiril Kyosev, Bozhidar Rakov, Georgi Ruzhekov

Abstract: In the industry, systems in which the model has more than one or two inputs and outputs (MIMO systems) are very common. An analog laboratory model with three inputs and three outputs has been developed. A system for multi-dimensional PID control using Programmable Logic Controller (PLC) is realized, using a method for static compensation the influence between the channels.

Keywords: Analog Model, Programmable Logic Controller, MIMO Control System, Multivariable PID Controller, SCADA.

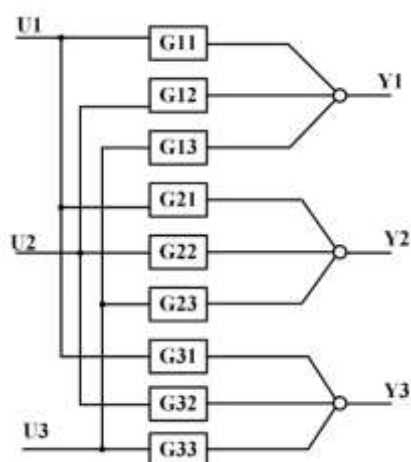
1. ВЪВЕДЕНИЕ

В практиката се срещат системи за управление на обекти с повече от два входа и изхода, обикновено използващи едноконтурно ПИД-управление. Проблемът при този вид управление е че поради влиянието между контурите, кръстосаните връзки се пренебрегват и се предполага, че ако се стабилизируют повечето от контурите и системата като цяло ще се стабилизира. В настоящата работа ще се проведат експерименти, с помощта на които ще се покаже ефективността на многомерното ПИД-управление, като се използва специален метод за компенсация на влиянието между контурите. Разработена е система за автоматична настройка на параметрите на този регулатор при непълна информация за обекта за управление. Експериментите, които се провеждат за настройка на параметрите на регулаторите са малко, могат да бъдат изцяло автоматизирани.

2. ОБЕКТ ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Моделът за управление е реализиран с помощта на “UNIVERSAL BOARD 2”, където е реализирана схемата на обекта. За реализацията се използват блокове с апериодични звена, суматори и коефициенти на пропорционалност. На фиг.1 е показана структурата на обекта, а на фиг.2 показан вече свързан и готов за управление обект.

Този обект представлява система от три основни контура и кръстосани връзки между всички канали. Управлението на такъв обект с използване на три отделни ПИД-регулатора на практика не е възможно. Алтернативен подход е с използване на многомерен регулатор, но процесът за изчисляване на матриците е сложен, изисква идентификация на обекта и др. сложни изчисления, което го прави невъзможен за реализация само с контролера.



Фиг.1. Структурна схема на обекта за управление

Параметри на обекта (определени експериментално) са показани на табл.1. На входовете на обекта U_1 , U_2 и U_3 се подава сигнал от Цифрово-Аналоговите Преобразуватели (ЦАП) на контролера, а изходните сигнали на обекта се подават към Аналогово-Цифровите Преобразуватели (АЦП) на входните сигнални модули. Системата за управление е реализирана с ПЛК Siemens S7-1513-1PN, към който са добавени необходимите сигнални модули - дискретна и аналогова периферия - фиг.3.



Фиг.2. Многомерен аналогов обект



Фиг.3. – ПЛК

Таблица 1.
Параметри на елементите

Означение на звеното	T_1, s	T_2, s	К
G_{11}	11.5	16.6	1
G_{12}	4	-	-9
G_{13}	34	-	8
G_{21}	19	-	-5
G_{22}	7	33.0	8
G_{23}	3	-	7
G_{31}	5	-	-9
G_{32}	14	-	3
G_{33}	15	24.8	1

1. ПРОГРАМНА РЕАЛИЗАЦИЯ НА СИСТЕМАТА ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Системата за управление е базирана на метода за независим синтез [2], при който се извършва статична компенсация на кръстосаните връзки. По този начин коригираният обект се характеризира с липса на връзка между отделните контури на управлението. По този начин за управлението на този обект се използват 3 едноконтурни ПИД-регулатора.

Разработва се софтуер в програмната среда на TIA PORTAL V15. Програмата съдържаща изчисленията на всички нужни параметри и коефициенти е написана на специалния за TIA PORTAL програмен език SCL. Разработен е дискретен ПИД-регулатор с анти-интегрално насищане. Дискретният ПИД-регулатор е реализиран с функционален блок съгласно (1).

$$u(k) = K_p \left(\varepsilon(k) + I(k) \frac{T_d}{T_0} \varepsilon(k) - \varepsilon(k-1) \right), \quad (1)$$

където $T_0 = 100ms$ е тактът на дискретизация, а $I(k)$ се изчислява по следния начин:

$$I(k) = I(k-1) + \frac{T_0}{T_i} \cdot e(k), \quad (2)$$

$$I(0) = 0.$$

Използването на функционален блок за реализация на ПИД-регулатора дава възможност за лесна реализация на трите отделни регулатора.

За определянето на параметрите на системата е разработено допълнително програмно осигуряване. На стъпка 1 се изчисляват коефициентите на усилване на всички канали - определяне на матрицата G . За определяне на тези коефициенти на трите входа на обекта се подават статични сигнали - на изследвания вход се подава сигнал, напр. 1V, а на останалите - 0. Изчаква се преминаването на преходните процеси, след което се натиска бутона 'Calc x'. По този начин се изчисляват статичните коефициенти за входа, за който се прави експеримента.

$$G(i, j) = \frac{Y(i)}{U(j)}, \quad (3)$$

където: $Y(i)$, $i = [1, 2, 3]$, изходен сигнал; $U(j)$ – сигнал на входа j , на който се подава сигнал различен от 0.

Процедурата се повтаря за трите входа. На фиг.4 е показана част от SCADA системата, с която се извършва експеримента за изчисляване стойностите на матрицата G .

	U	G			Y
Calc 1	+1.00	+0.955	-8.269	+7.968	+0.955
Calc 2	+0.00	-4.503	+7.292	+6.121	-4.506
Calc 3	+0.00	-8.695	+2.912	+0.969	-8.697

Фиг.4. Изчисляване на G за вход 1

На Стъпка 2 се изчислява обратната матрица на G (4) (настиска се бутон 'CalcD').

$$D = G^{-1}(0) \quad (4)$$

На фиг.5 е показана част от SKADA системата, с която се изчислява матрицата D . Програмният код за обръщане на матрица е реализиран в ПЛК.

	D		
Calc D	-0.014	+0.040	-0.138
Det	-0.061	+0.088	-0.052
+789.7	+0.063	+0.087	-0.037

Фиг.5. Изчисляване на матрицата D .

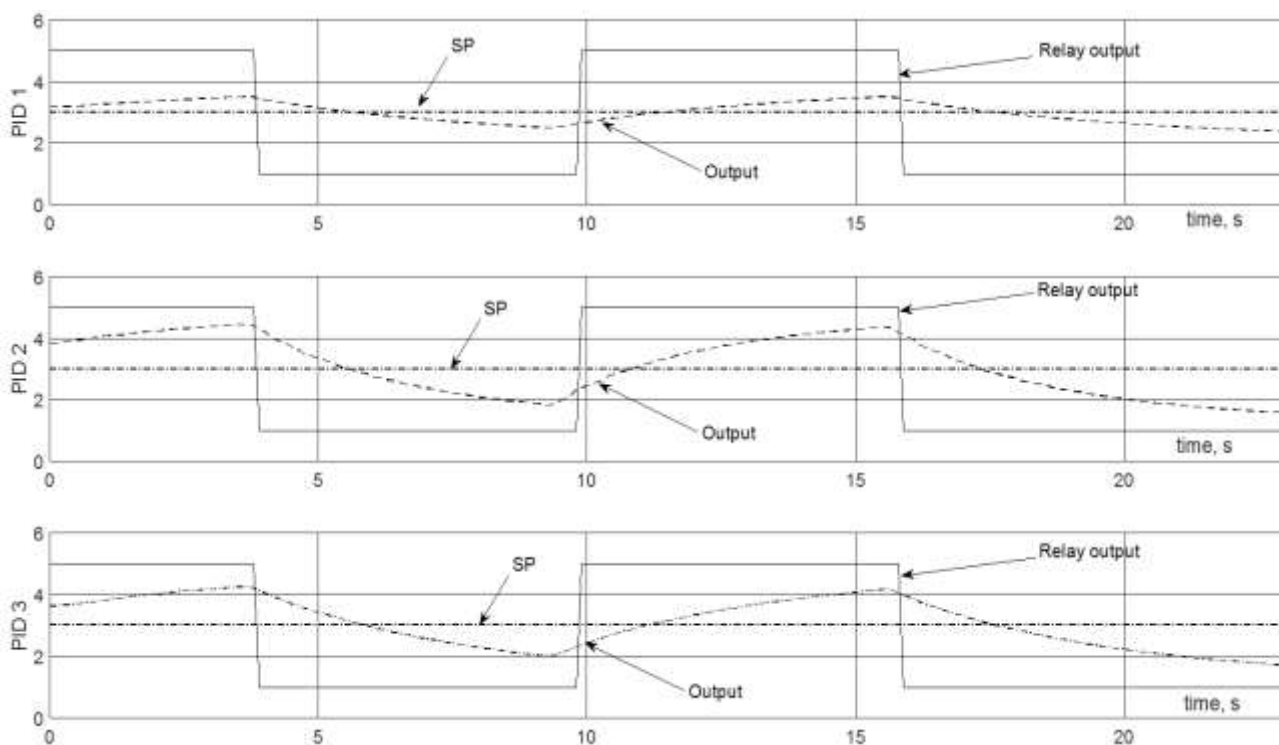
По този начин се определят параметрите на коригирания обект (със статична компенсация в установен режим) (5).

$$G_{sh}(s) = G(s).D \quad (5)$$

На Стъпка 3 се извършва автоматична настройка на всеки един от регулаторите. Използва се метод на Astrom-Hagglund-2 за всеки изход (1, 2, 3) на коригирания обект [1, 4, 5]. Едновременно на всички входове на коригирания обект се подава тестовия релейен сигнал (фиг.6).

На фиг.6 е показан е част от процеса за автонастройка на ПИД 1. Добре се вижда сигналът от релейния изход на системата за автоматична настройка. Настройките на другите регулатори се извършват по аналогичен начин. На фиг.7 е показан елемент от SCADA [3] системата, който се използва за управление на процеса на автоматична настройка: задаване на големината на релейния изход и заданието в режим, получаване на симетрични колебания и прехвърляне на изчислените коефициенти към ПИД-регулатора.

След задаване на необходимите параметри процесът за автоматична настройка се пуска. Параметрите на получените колебания се определят автоматично и се изчисляват коефициентите на съответния ПИД-регулатор. Процедурата за самонастройка не изисква допълнителни изчисления и е относително бърза. Самонастройката се извършва в околност около работната точка на обекта, амплитудата на изходния сигнал на релето е съобразена със спецификата на обекта, поради което той не може да бъде повреден.



Фиг.6. Графика от процеса на самонастройка за ПИД 1

AT Start/Stop		
<input type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/> OFF		
PID Num	<input type="text" value="3"/>	AT Sp <input type="text" value="3.0"/>
		AT Hyst <input type="text" value="1.00"/>
	Out Min <input type="text" value="0.0"/>	Out Max <input type="text" value="5.0"/>
Kp	<input type="text" value="0.92"/>	Ia1 <input type="text" value="+2.03"/>
Ti	<input type="text" value="3.9"/>	Ia2 <input type="text" value="+3.94"/>
Td	<input type="text" value="1.0"/>	Step <input type="text" value="1"/>
		Itime <input type="text" value="85"/>
<input type="button" value="To PID"/>		<input type="button" value="OK"/>

Фиг.7. Задаване на параметри и управление на процеса за автоматична настройка

На фиг.8 е показан елемент от SCADA системата, който се използва за задаване на параметри и управление на регулаторите. Всеки регулатор може да работи в автоматичен или ръчен режим. Ръчният режим се използва за провеждане на експерименти със системата в отворен контур, а с автоматичния режим се извършват експерименти относно качеството на управление на системата. Изчислените, от процедурата за самонастройка, коефициенти на регулаторите се прехвърлят автоматично към съответния регулатор и системата може да бъде стартирана.

All	1	2	3
Auto/Manual <input checked="" type="checkbox"/> AUTO <input type="checkbox"/> MAN	Start/Stop <input checked="" type="checkbox"/> Start <input type="checkbox"/> Stop	Start/Stop <input checked="" type="checkbox"/> Start <input type="checkbox"/> Stop	Start/Stop <input checked="" type="checkbox"/> Start <input type="checkbox"/> Stop
	Auto/Man <input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man	Auto/Man <input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man	Auto/Man <input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man
SP	<input type="text" value="+3.00"/>	<input type="text" value="+3.00"/>	<input type="text" value="+3.00"/>
ManOut	<input type="text" value="+3.07"/>	<input type="text" value="+3.05"/>	<input type="text" value="+3.02"/>
Kp	<input type="text" value="+6.72"/>	<input type="text" value="+3.87"/>	<input type="text" value="+3.91"/>
Ti	<input type="text" value="+1.69"/>	<input type="text" value="+1.06"/>	<input type="text" value="+1.40"/>
Td	<input type="text" value="+0.40"/>	<input type="text" value="+0.26"/>	<input type="text" value="+0.34"/>
OutMax	<input type="text" value="+10.00"/>	<input type="text" value="+10.00"/>	<input type="text" value="+10.00"/>
OutMin	<input type="text" value="-10.00"/>	<input type="text" value="-10.00"/>	<input type="text" value="-10.00"/>

Фиг.8. Параметри и режими на регулаторите

4. РЕЗУЛТАТИ

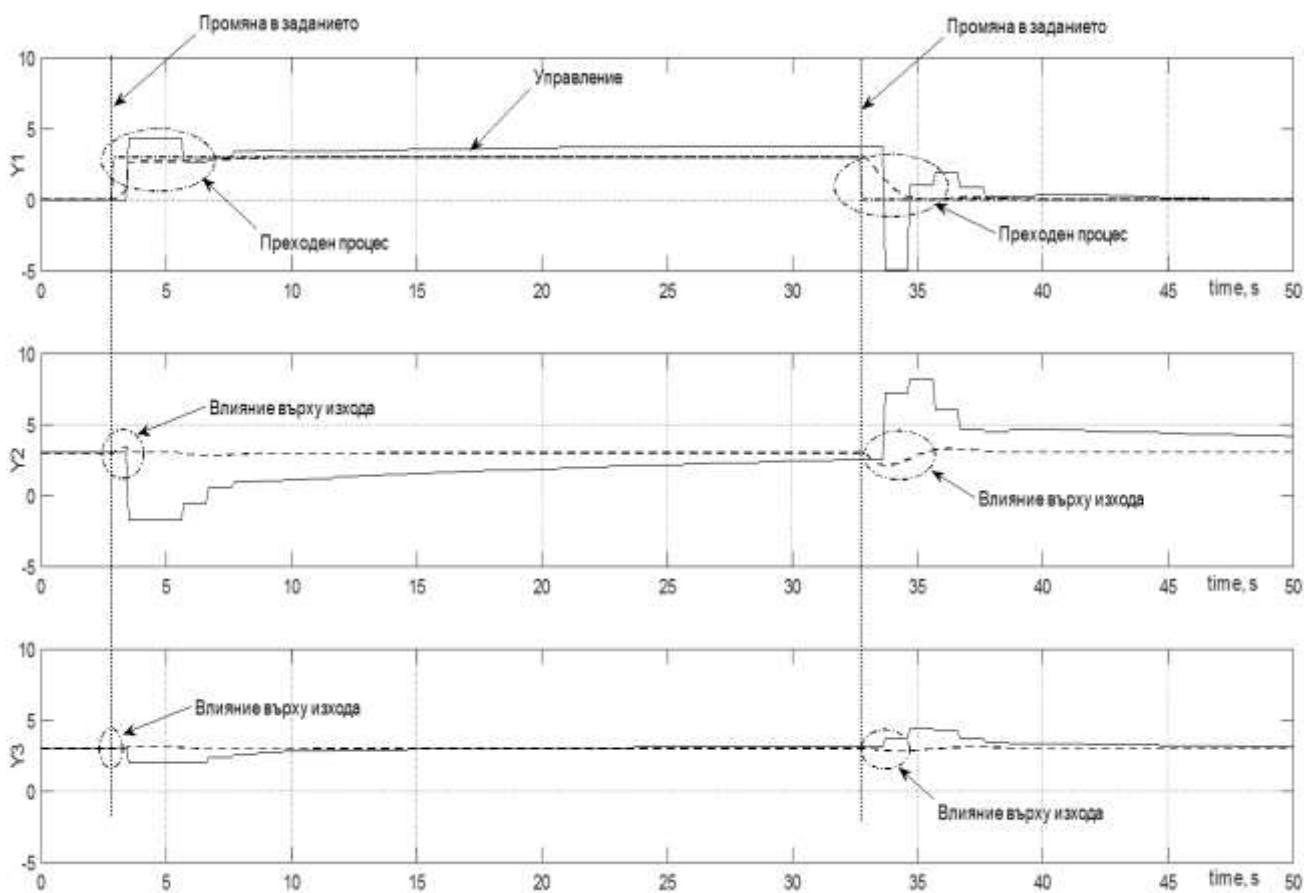
С така разработената система са проведени експерименти за определяне на влиянието между контурите и характера на преходните процеси при смяна на заданието на всеки от регулаторите. На фиг.9, фиг.10 и фиг.11 са показани резултати от експерименти по промяна на заданието на всеки регулатор от 0 на 3 и отново към 0. Вижда се, че влиянието на контура, на който се извършва промяна в заданието, влияе много слабо на останалите контури, като в някои случаи влиянието е пренебрежимо малко. Преходните процеси по втори и трети вход се характеризират с високо бързодействие и добро отработване на процесите, които са възникнали от взаимните връзки между процесите. Изходните сигнали са в допустимия диапазон. Разработената система позволява да се извърши донастройка на

коэффициентите на регулаторите. Това е възможно, защото е известно влиянието на коэффициентите върху преходния процес, те имат ясен физически смисъл.

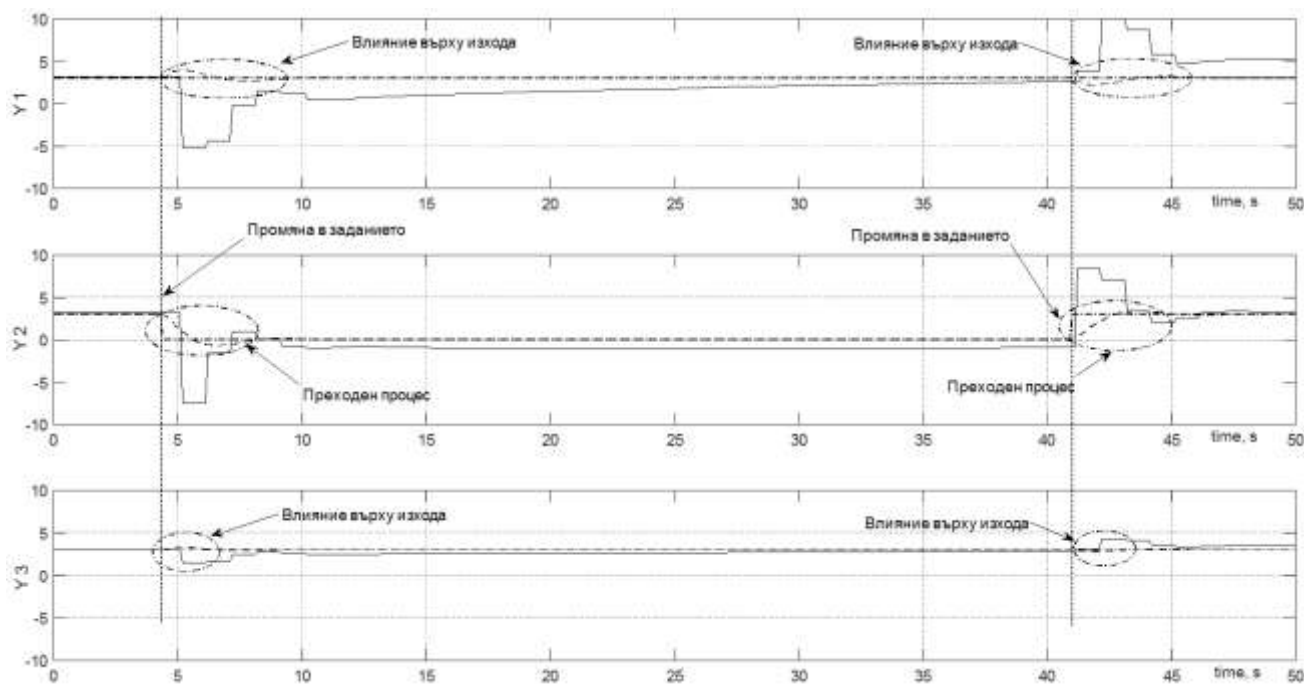
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализирана е система за управление на реален аналогов многосвързан обект, като за управлението е използван програмируем логически контролер (ПЛК). Програмното осигуряване е разработено в среда на TIA PORTAL, на програмен език SCL. За визуализация е реализирана SCADA система WinCC flexible. Структурата на системата е разработена на базата на компенсация на взаимните влияния между каналите в установен режим. Този подход дава възможност за използване на стандартни програмно реализирани ПИД-регулатори. Настройката на системата се състои от няколко стъпки:

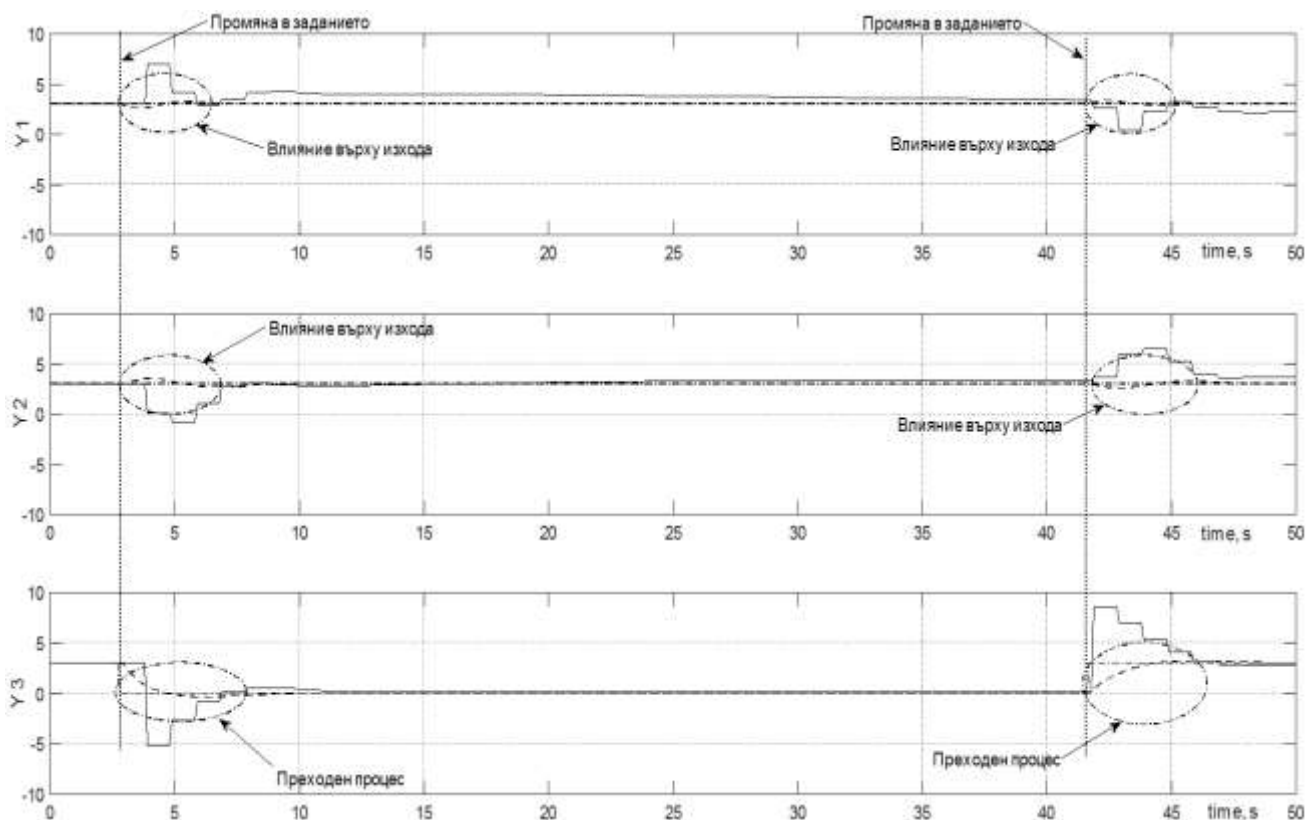
1. Експериментално определяне на статичните коефициенти на усилване за всеки контур.
2. Изчисляване на обратната матрица D (4) и определяне на параметрите на коригирания обект.
3. Настройка на трите ПИД регулатора. В случая е използван подход за автоматична настройка по метода на Astrom-Hagglund-2, като релейния сигнал се подава едновременно на входовете на коригирания обект. Амплитудата на релейния сигнал се съобразява с възможностите на системата. За управлението на процеса на настройка и изчисляване на параметрите е разработен необходимия софтуер и визуализация.
4. Използваният подход за настройка на регулаторите дава възможност за автоматизиране на процеса, бърз и лесно приложим за индустриални приложения, където се налага пренастройка на системата при смяна на параметри и/или обработван продукт.
5. Системата позволява много лесна корекция на параметрите на ПИД-регулаторите за постигане на по-добри резултати от управлението. Съществено предимство е, че параметрите за настройка са малко и много добре е известно влиянието на всеки от тях. Това дава възможност за ръчна промяна на някой от параметрите без да се пуска процедурата за самонастройка. Тази възможност е изключително полезна при индустриални системи.
6. Получените резултати показват много добра компенсация на взаимните връзки, преходните процеси са бързи и с много малко пререгулиране.
7. Алтернативният подход с използване на многомерно управление изисква много усилия за провеждане на идентификация, синтез и моделиране на процесите. Разработване на програмно осигуряване не е тривиално, изискват се и матрични изчисления, които не присъстват в стандартния софтуер за промишлени контролери и трябва да бъде дописан. Не е възможно ръчно донастройка на параметрите, тъй като техният брой е много голям и не е известно влиянието на всеки от тях върху реакцията на системата.



Фиг.9. Промяна в заданието на Контур 1



Фиг.10. Промяна в заданието на Контур 2



Фиг.11. Промяна в заданието на Контур 3

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гарипов Е., (2017). *Цифрови системи за управление Част 1*, Технически Университет-София, гр. София;
- [2] Раков В., (2018), *Независим синтез на ПИД регулатор за тримерен обект*, Годишник на Технически университет-София, том 68, книга 2, 2018, гр. София
- [3] Ружеков Г., (2015), *Промислени системи за управление*, Технически университет-София, гр. София;
- [4] Yu С., (2006), *Autotuning of PID Controllers, A Relay Feedback Approach*, 2nd Edition, Springer London
- [5] Astrom K, T. Hagglund, (1995), *PID Controllers, Design and Tuning*, 2nd Edition, Instrument Society of America.

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

Постъпила на 22.04.2019 г.

Рецензент: доц. д-р Теофана Пулева