

ПРОГРАМНА СРЕДА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА PLC ПИД УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С ДВА ВХОДА И ДВА ИЗХОДА

Божидар Раков, Георги Ружеков

***Резюме:** В голяма част от промишлените системи обектът за управление е с повече от един вход и един изход (multiple-inputs, multiple-outputs systems, MIMO systems). Много разпространени са обектите с два входа и два изхода (two inputs and two outputs, TITO). Реализирана е изцяло програмна симулация на процеса на управление, което позволява проверка на различни алгоритми. Управляващият софтуер е реализиран в среда на програмируем логически контролер (ПЛК).*

***Ключови думи:** Многомерни системи за управление, ПИД, Програмируеми логически контролери (ПЛК)*

PROGRAM ENVIRONMENT FOR PLC PID CONTROL DESIGN OF A PLANT WITH TWO INPUTS AND TWO OUTPUTS

Bozhidar Rakov, Georgi Ruzhekov

***Abstract:** In most of the industrial control systems the plant consists of more than one input and one output (multiple-inputs, multiple-outputs systems, MIMO systems). Widespread are plants with two inputs and two outputs (two inputs and two outputs, TITO). Complete program simulation of the control process was realized which allows verification of many control algorithms. The control software is implemented in an environment of programmable logical controller (PLC).*

***Key-words:** Multiple-inputs, multiple-outputs systems, PID, Programmable logical controllers (PLC)*

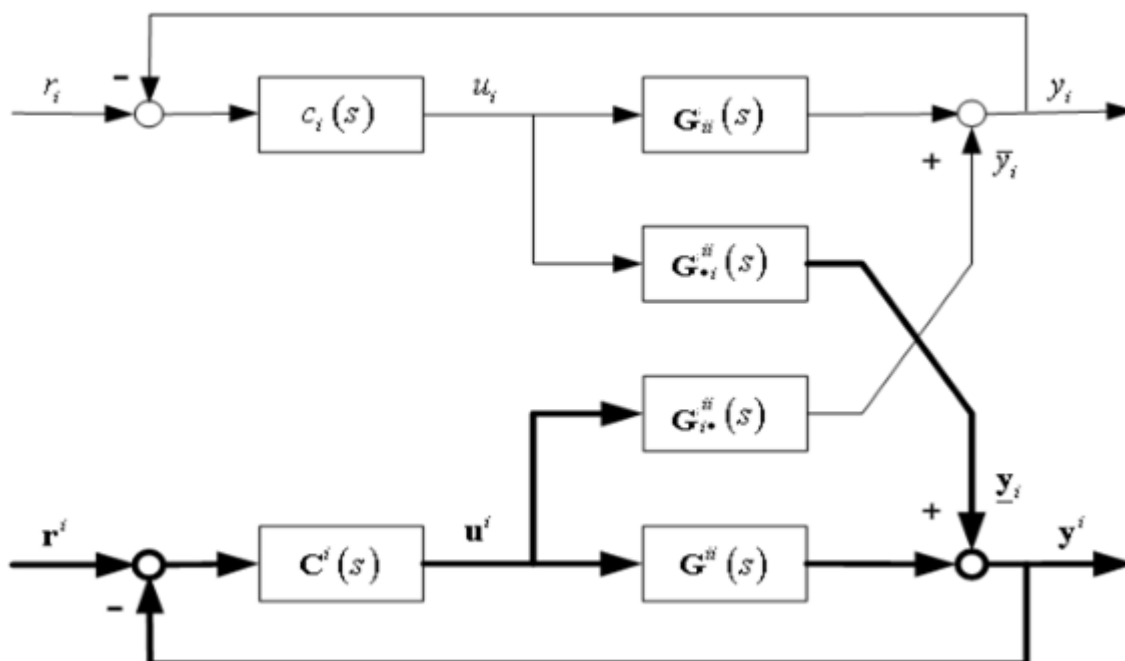
1. Въведение

Индустриалните системи за управление обикновено са многоконтурни и обикновено за тяхното управление се използват едноконтурни регулатори, като се предполага, че ако се стабилизира един или няколко контура, то и другите ще се стабилизира. Обикновено за тази цел се използват обикновени ПИД регулатори, които могат да управляват само по един контур. Те са много добре познати на инженерната общност с техните особености и методи за настройка (някои разполагат и с методи за самонастройка). Използването на едноконтурни ПИД регулатори влошава качеството на управление на обектите. На практика, в индустриалните приложения не се използват многомерни системи за

управление, основно поради много сложните и неинтуитивни методи за настройка. Алтернатива на многомерните системи за управление в пространство на състоянието са многомерните ПИД регулатори. Много от приложенията са с два входа и два изхода (two inputs and two outputs, TITO Control), поради което трябва да се създаде система, с която могат да се симулират и изследват такива системи.

2. Двумерно ПИД управление

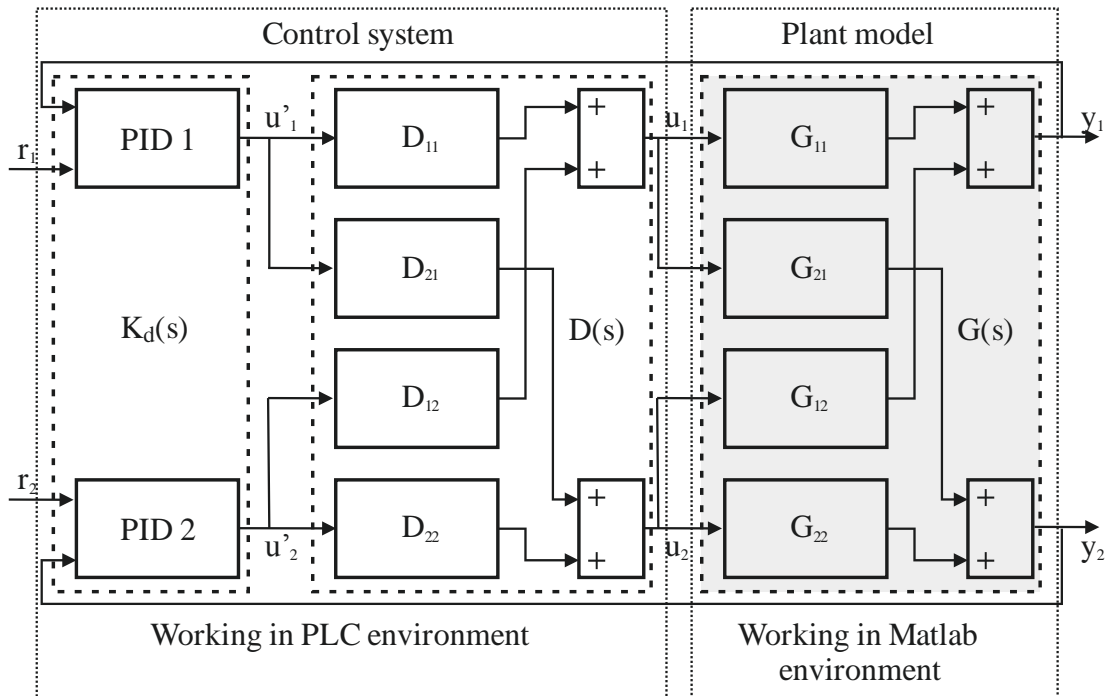
Лошото качество на процесите в затворената система за управление се дължи на факта, че едномерните методи не отчитат влиянието между контурите. Промяната на задание или параметри, наличие на шум или смущение в един контур се отразява на всички останали, а поради обратните връзки възникналите реакции в последните въздействат на първоизточника [1], фиг. 1.



Фиг. 1 Наличие на свързаност в двумерен обект

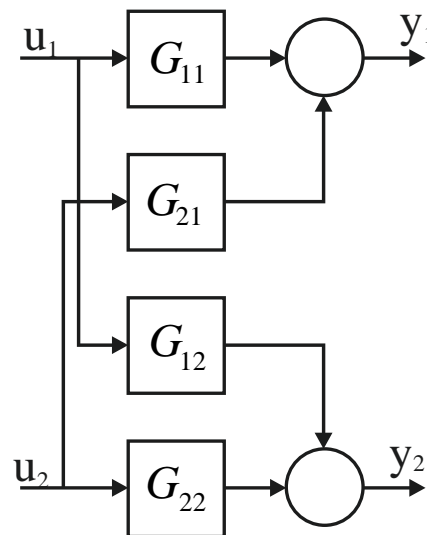
Синтезираните едномерни регулатори не биха отговаряли на динамиката на обекта в определени случаи. Третирането на кръстосаните връзки в обекта е една от основните цели при управление на многомерен обект с ПИД закон. Съществуват различни подходи. Възможно е използване на информация за влиянието между контурите на етапа на синтеза, под формата на конкретна динамика [2], максимална стойност, модел с неопределеност [1], [3] или наличие на смущение. Друг подход е стремеж към елиминиране на взаимното влияние, което автоматично да декомпозира многомерната задача на N едномерни. Един такъв метод е този с използване на декупиращи филтри, наречени още компенсатори [4]. Декупиращият филтър представлява динамична система, поставена на входа на обекта (фиг. 2), с конкретна динамика, осигуряваща елиминирането на кръстосаните връзки. На етапа на синтеза обектът и компенсаторът се разглеждат като едно. Управляващото

устройство манипулира сигналите u'_i , вместо u_i , за управление на величините y_i . Използването на декупиращ филтър при двумерен обект е оправдано поради, значителното опростяване на синтеза и възможността за използване на добре познати и доказани *SISO* методи, без да обременява значително структурата на затворената система, нещо което се наблюдава при по-голяма размерност на обекта.



Фиг. 2 Управление чрез декупиращи филтри

Нека обектът от фигура 3 се описва с предавателна матрица $G(s)$, съдържаща строго правилни и устойчиви предавателни функции $G_{ij}(s)$.



Фиг. 3 Двумерен обект

$$G(s) = \begin{vmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{vmatrix} \quad (1)$$

За двата изхода на обекта може да се запишат уравнения (2) и (3):

$$y_1(s) = G_{11}(s)u_1(s) + G_{12}(s)u_2(s) \quad (2)$$

$$y_2(s) = G_{22}(s)u_2(s) + G_{21}(s)u_1(s) \quad (3)$$

Според фигура 2 управляващите сигнали, подавани на входа на обекта се формират по следния начин (4):

$$u_1(s) = D_{11}(s)u_1^*(s) + D_{12}(s)u_2^*(s) \quad (4)$$

$$u_2(s) = D_{22}(s)u_2^*(s) + D_{21}(s)u_1^*(s)$$

Замествайки (4) в (2) и (3) за управляващите величини се получава (5) и (6):

$$y_1(s) = G_{11}(s)D_{11}(s)u_1^*(s) + G_{11}(s)D_{12}(s)u_2^*(s) + G_{12}(s)D_{22}(s)u_2^*(s) + G_{12}(s)D_{21}(s)u_1^*(s) \quad (5)$$

$$y_2(s) = G_{22}(s)D_{22}(s)u_2^*(s) + G_{22}(s)D_{21}(s)u_1^*(s) + G_{21}(s)D_{11}(s)u_1^*(s) + G_{21}(s)D_{12}(s)u_2^*(s) \quad (6)$$

Сигналят $u_2^*(s)$ трябва да бъде премахнат от (5) и сигналят $u_1^*(s)$ трябва да бъде премахнат от (6). Избирайки (7), уравнения (5) и (6) добиват вида (8) и (9). Съответните сигнали са премахнати успешно, но с цената на промяна в динамиката и необходимост от познаване на точен параметричен модел.

$$D_{11}(s) = 1, D_{12}(s) = -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)}, D_{21}(s) = -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)}, D_{22}(s) = 1 \quad (7)$$

$$y_1(s) = G_{11}(s)u_1^*(s) - G_{12}(s)\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)}u_1^*(s) \quad (8)$$

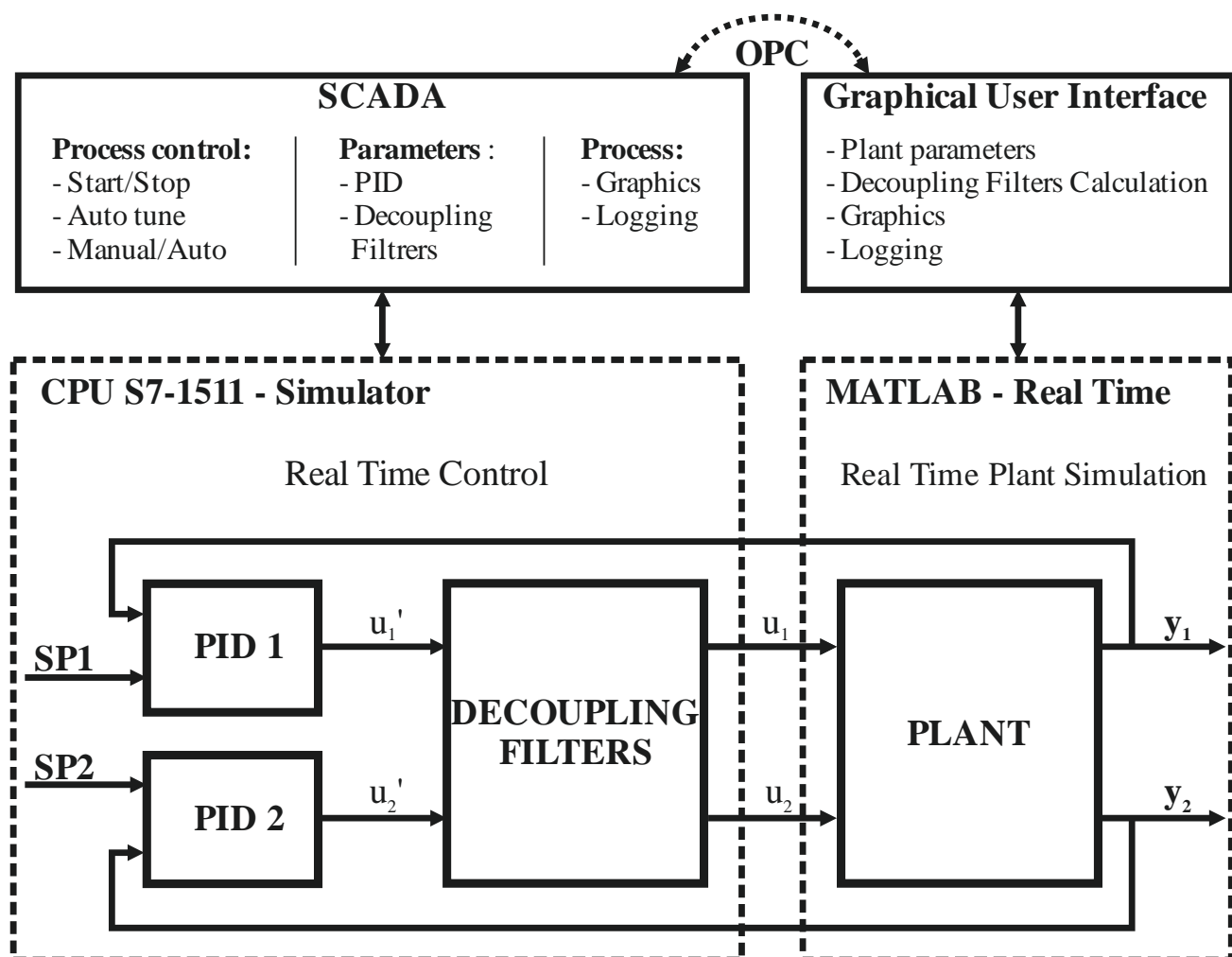
$$y_2(s) = G_{22}(s)u_2^*(s) - G_{21}(s)\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)}u_2^*(s) \quad (9)$$

Като се отчетат уравнения (7) предавателната матрица на компенсатора има следната форма (10).

$$D(s) = \begin{vmatrix} 1 & -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} \\ -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

3. Структура на хибридната система

Системата е изцяло програмно реализирана – използва се симулатор на програмируем логически контролер на Siemens S7-CPU1513-1PN, MATLAB реализиран модел на обекта и SCADA система (фиг. 4).



Фиг. 4. Структура на системата

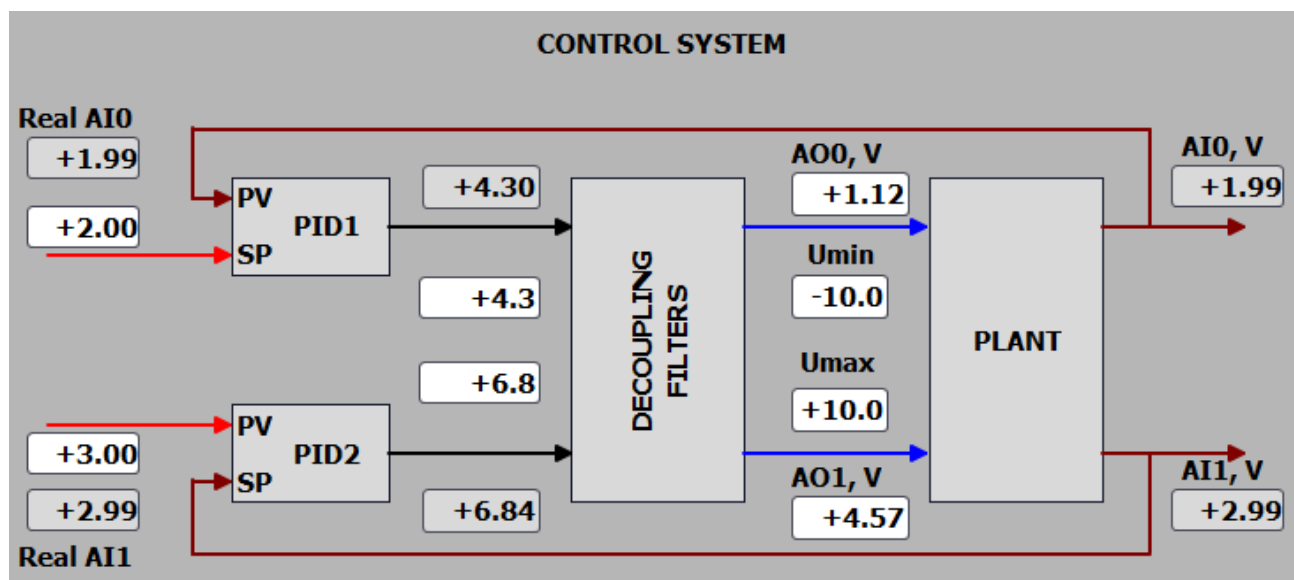
В средата на ПЛК се реализират ПИД регулаторите, декупиращите филтри и процедурата за самонастройка на регулаторите. Работят в реално време, като такта на дискретизация може да се променя. Софтуерът е реализиран на език SCL (структурен език за програмиране на ПЛК от високо ниво). Реализиран е автоматичен и ръчен режим на работа на елементите от системата, което дава възможност за провеждане на допълнителни експерименти.

SCADA системата осигурява:

- Визуализацията на процесите в системата – стойности на параметрите и графики в реално време.
- Задаване на параметри на регулатора.

- Управление на процесите – избор на режими на работа, стартиране на процесите за самонастройка, запис на данните от експериментите и др.
- Осигурява комуникацията през OPC към обекта за управление.

SCADA системата е реализирана в среда на TIA Portal WinCC Advanced. Графичното оформление дава възможност за наблюдение и управление на процесите в системата. Основните подсистеми – ПИД регулатори, декупиращи филтри и блока за автоматична настройка могат да работят в ръчен и автоматичен режим. Ръчният режим позволява задаване на стойности на входовете на декупиращите филтри, наблюдаване и запис на реакцията на изходите им и на изходите на обекта. Мнемосхемата е показана на фиг. 5.



Фиг. 5. Мнемосхема на системата за управление

Блокът за автоматична настройка на ПИД регулаторите е показан на фиг. 6. Наличието на декупиращи филтри позволява настройката на регулаторите да се извършва поотделно.

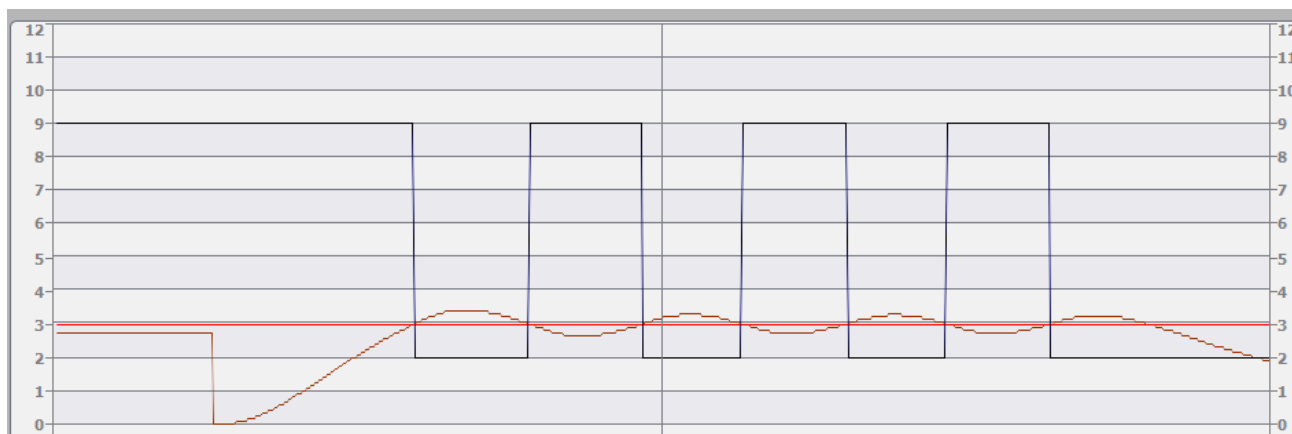
След като е известна структурата и елементите на предавателната матрица на декупиращия филтър се преминава към синтез на два отделни ПИД регулатора. Използва се вторият метод на Астрьом и Хаглунд [5]. Получените контролери се характеризират с определен запас по фаза и модул, което ще има важна роля при несъответствие на компенсатора или промяна на параметри на обекта. Параметрите на регулаторите се намират автоматично. Съответният контур се заставя да работи в колебателен режим около заданието за кратък период. Отчитат се критичните параметрите на колебанията – период и амплитуда. Настройките на контролера се изчисляват. Същата процедура се повтаря за другия контур, с което етапът на синтез приключва. Необходима е проверка на резултатите, качеството и устойчивостта на затворената система.

След провеждане на автоматична настройка се извършват тестове с така настроените регулатори и при необходимост може да се извърши допълнителна настройка на параметрите на регулаторите.

PID 1		PID 2		AT Sp		PID 2 ▾	
PARAMETERS							
Kp	+4.9144		+3.8426	Ko	+0.44	Out Min	+5.00
Ti	+6.3290		+4.1214	Ia1	+2.8	Out Max	+9.00
Td	+1.5869		+1.0690	Step	1	Ia2	+3.2
b	+0.5211		+0.5141	Kp	+3.8426	Itime	73
c	+1.0000		+1.0000	Ti	+4.1214	b	+0.514
N	+10.0000		+10.0000	Td	+1.0690	To PID	

Фиг. 6. Блок за автоматична настройка на ПИД регулаторите.

На фиг. 7 е показана графика от процеса на автоматичната настройка. Виждат се релейното управление и получените колебания на изхода на обекта. За изчисляване на настройките са необходими няколко цикъла, след което процесът на автоматична настройка се прекратява.



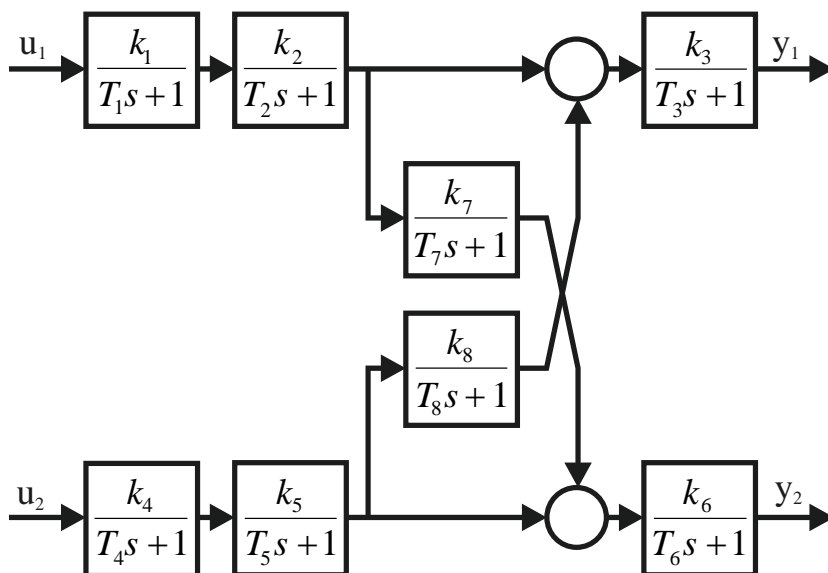
Фиг. 7. Графика от процеса на самонастройка на ПИД регулатор

4. Обект за управление

Структурата на обекта за управление е показана на фиг. 8. Представява опростен модел на двуконтурен термичен обект. Параметрите на обекта са:

$$k_1 = 0.7, k_2 = 1.0, k_3 = 1.0, k_4 = 0.6, k_5 = 1.0, k_6 = 1.0, k_7 = 0.47, k_8 = 0.5$$

$$T_1 = 7 \text{ s}, T_2 = 3 \text{ s}, T_4 = 5 \text{ s}, T_5 = 1 \text{ s}, T_6 = 1 \text{ s}, T_7 = 1 \text{ s}, T_8 = 10 \text{ s}.$$



Фиг. 8. Структура на обекта за управление

Обектът е реализиран в среда на MATLAB, като са изпълнени следните стъпки:

- Инициализация на OPC сървър.
- Реализация на непрекъснатия модел на обекта – предавателни функции.
- Получаване на дискретни предавателни функции на модела на обекта.
- Изчисляване на параметрите компенсатора (непрекъснати и дискретни).
- Прехвърляне на параметрите към ПЛК чрез OPC.
- Стартиране на таймерна функция, чрез която се реализира дискретния модел на обекта в реално време.

Обектът се реализира под формата на диференчни уравнения по всеки канал от вида (11).

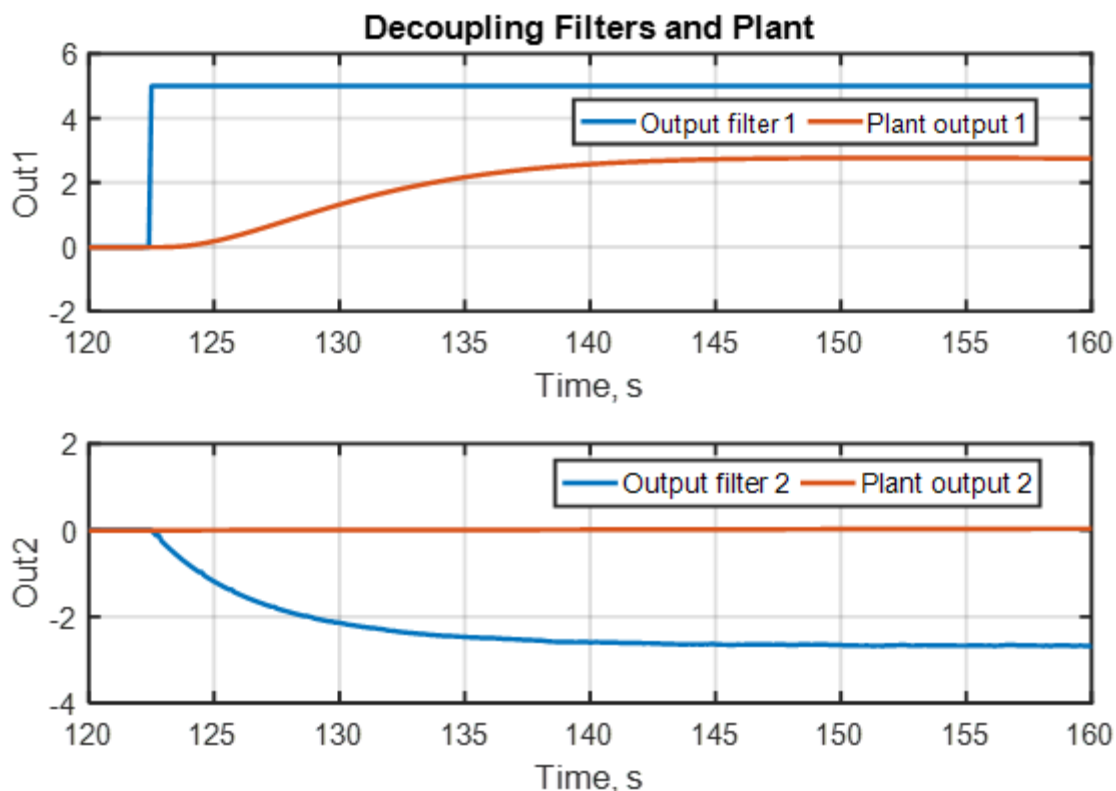
$$y(k) = -a_1 y(k-1) \cdots - a_n y(k-n) + b_1 u(k-1) \cdots + b_m u(k-m), \quad (11)$$

където a_i, b_i са коефициенти на полиномите в знаменател и числител съответно, $y(k-i), u(k-i)$ са регресори. За минимизиране на използваните изчислителни ресурси за реализацията на (11) се използва канонична форма на представяне на уравненията [6]. Така големината на закъснителната верига е равна на реда на предавателната функция. Извиква се таймерна функция на всеки такт. Прочитат се управляващите сигнали от ПЛК в текущия момент. Пресмятат се изходите на обекта чрез диференчни уравнения. Извършва се преместване на регресорите, за реализиране на закъснителната верига.

5. Експериментални резултати

На фиг. 9 е показана работата на декупиращите филтри с обекта. Работи се в ръчен режим на работа (в отворен контур), при което на входа на

декупиращия филтър u'_1 (изхода на PID 1) се задава стойност 5, на u'_2 (изхода на PID 2) се задава 0. От графиката се вижда, че y_1 (Plant output 1) се променя, а y_2 (Plant output 2) не се променя, което показва правилната работа на декупиращите филтри. От графиката също се вижда, че изходът на филтър 2 (Output filter 2) се променя, с което се осигурява поддържането на y_2 (Plant output 2) непроменено.

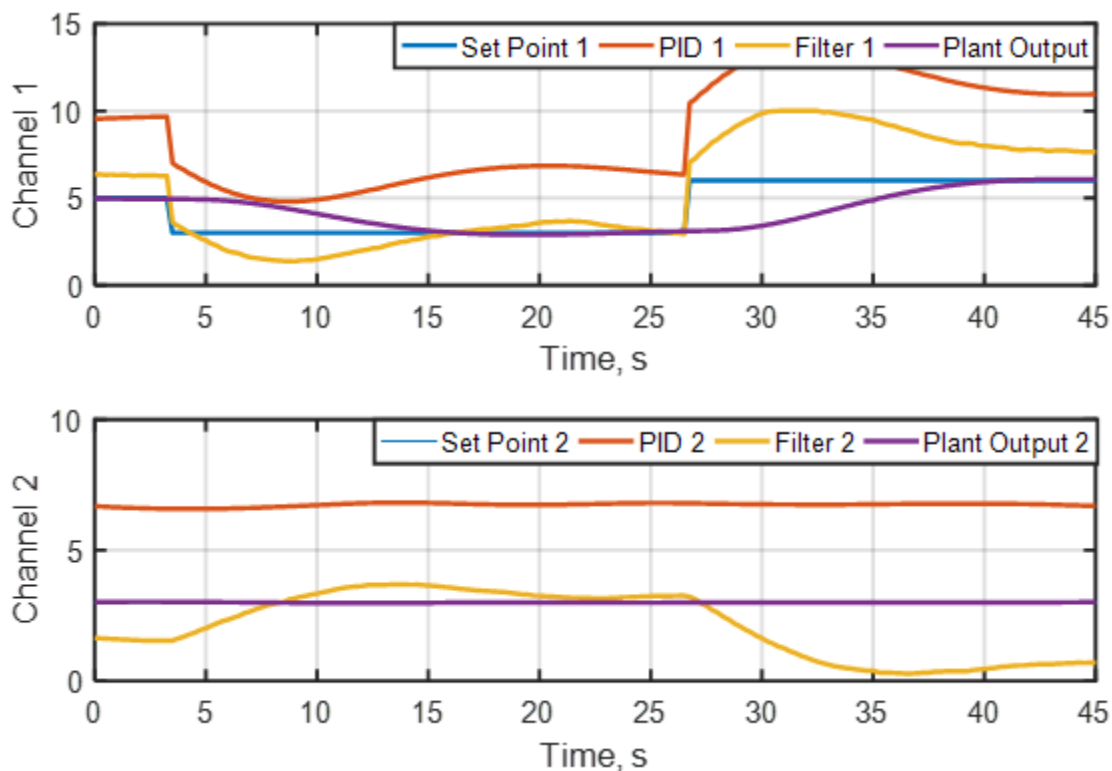


Фиг. 9. Експерименти в отворен контур

Работата на системата в затворен контур се илюстрира с фиг. 10. Вижда се отработване на промяна в заданието (Set Point 1), докато изходът на втория контур (Plant Output 2) остава непроменен.

6. Заключение

Показана е реализацията на експериментална система за тестване и настройка на програмно осигуряване, разработено в среда на ПЛК, за ПИД управление на двумерен обект. Обектът е програмно реализиран в среда на MATLAB, като се използва OPC комуникацията между системата за управление и обекта. Този подход позволява разработване, тестване и валидация на програмното осигуряване на системата за управление със симулиран обект. Такава система представлява първи етап при разработване на системи за управление. Позволява разработване и тестване на затворената система, паралелно с изграждане на обекта, дава възможност за оценка на реализируемост, ефективност и безопасност на изгражданата система.



Фиг. 10. Експерименти в затворен контур

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Z. Y. W.-J. C. C.-C. H. Qing-Guo Wang, PID Control for Multivariable Processes, Springer, 2008.
- [2] M. L. Truong Nguyen Luan Vu, "Independent design of multi-loop PI/PID controllers for interacting multivariable processes," *Journal of process Control*, no. 20, pp. 922-933, 2010.
- [3] A. V. Ramon Vilanova, PID Control in the Third Millennium, Springer, 2012.
- [4] F. M. Francisco Vazquez, "Tuning Decentralized PID Controllers for MIMO Systems with Decouplers," in *15th Triennial World Congress*, Barcelona, 2002.
- [5] T. H. K. Astrom, PID Controllers: Theory, Design and Tuning 2nd Edition, 1995.
- [6] Г. Т. Ружеков, *Обработка на Данни и Сигнали*, София: Технически Университет - София, 2011.

Автори:

1. Маг. инж. Божидар Раков, редовен докторант кат. „Системи и управление“, Факултет Автоматика, ТУ-София
2. Доц. д-р Георги Ружеков, кат. „Системи и управление“, Факултет Автоматика, ТУ-София

Този доклад е разработен по договор за научен проект в помощ на докторант № 172ПД0015-08