

## Реализиране на модифицирани ПИД-регулатори за управление на стационарни системи в прецизното земеделие посредством програмируеми контролери

Цветелина Драганова

**Implementation of the modified PID controllers for the management of invariable systems in precision farming using programmable controllers:** Implementation of the modified PID controllers for the management of invariable systems in precision farming using programmable logic controllers (PLC) is presented in the paper. A comparison between the standard and modified PID controllers is made using a PLC - PS4-341 and the integrated development environment SucoSoft S40. The comparison is made on the following criteria: execution time; memory and problems in implementation. The implementation of the modified PID algorithms does not increase the amount of data and time of program execution. Using the values in real format, instead of such an integer in the structure of the considered algorithms increased data bytes of the program code and 0,1 ms execution time.

**Key words:** PID controller, Programmable Logic Controller, Precision Farming

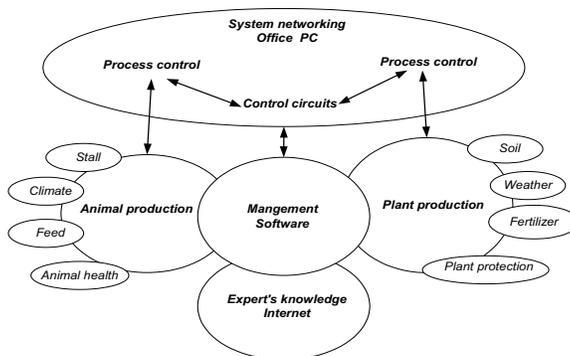
### ВЪВЕДЕНИЕ

Селскостопанският сектор бързо се превръща в индустрия от голямо значение, която трябва да разчита предимно на усъвършенствани техники за управление и интелигентни системи за контрол, основни компоненти на новото поколение на растениевъдни и животновъдни предприятия в новото хилядолетие. Традиционно, информационните системи се състоят от бази данни, приложни програми и потребителски интерфейси. Тази практика се променя, защото новото търсене е насочено към отворени интегрирани архитектури с един по-глобален обхват чрез съвместни действия.

Съвременното земеделие се характеризира с изключително нарастване на сложността на земеделските системи и преход към прецизно земеделие, при което се интегрират в едно земеделски, информационни, компютърни и комуникационни технологии и нови подходи, методи за организация и управление на производството. Земеделската техника и технологии се интелектуализират, усвояват се нови категории знания и компетенции, насища се с интердисциплинарност, осъществява се трансфер на информация и знания, въвеждат се нови генерации материали, иновационни и мисловни техники, технологии, методи и средства. Прецизното земеделие използва географски информационни системи (GIS), глобални позиционни системи (GPS) и специализирани микропроцесорни системи за събиране, съхраняване, визуализиране и анализиране на обширно количество от данни, изграждане на бази-данни и експертни системи, чрез които се реализират нови мениджърски подходи и стратегии за устойчиво развитие на съвременните ферми за производство на селскостопанска продукция.

На фиг. 1 са представени новите тенденции при използване на компютърно – базирани технологии в прецизното земеделие, насочени както към растениевъдството, така и към животновъдството.

Чрез средствата за автоматичен контрол се осигурява необходимата обективна информация както за текущото състояние на обекта, така и за историята на протичащите в него процеси. Предотвратяват аварийни и нежелани ситуации във функционирането на обекта, като едновременно се алармира за тях. Натрупаната информация характеризира качеството на произвеждания продукт и е основа за изработване на стратегия на ръководния и експлоатационния персонал за по-нататъшни действия. Такъв подход предполага изграждането на автоматизирани системи за управление.



Фиг. 1. Компютърно – базирани технологии в прецизното земеделие

В автоматизираните системи за управление регулаторът е функционален блок, който формира по определен начин изменението на управляващото въздействие във времето в зависимост от големината и знака на отклонението на регулируемата величина от задаващото въздействие. ПИД регулаторът е най-широко използваният алгоритъм за автоматично управление [1]. За обекти с определено закъснение и бързо изменящи се смущаващи въздействия, ПИД-регулаторът притежава най-добри качества относно преходния процес. Когато обектът притежава малка инертност, диференциращата част в регулатора може да предизвика резки ускорения на регулиращия орган, което е нежелателно. Поради това се налага да се използват модифицирани ПИД регулатори.

Съгласно [2] съвременните системи за управление, реализирани с програмируеми логически контролери (Programmable Logic Controller или PLC), разполагат с мощни процесори, цифрова и аналогова периферия, операторски панели и възможност за реализиране на графични интерфейси, което е предпоставка за програмна реализация на ПИД регулатори в подобни системи. В голяма част от системите за автоматизация на производствените процеси са реализирани стандартни ПИД регулатори. Например реализирането на ПИД закон за регулиране в програмната среда Simatic manager – STEP 7, описано в [2], където потребителя може да създаде ПИД регулатор, но само в стандартния му вариант. Друг пример е системата MACQU (**MA**nagement and **C**ontrol for **QU**ality) [3], която представлява интегрирана система за мениджмънт, управление на технологичните процесите и контрол качеството на продукцията в прецизното животновъдство и оранжерийно производство. Системата предлага подходящи възможности за бързо разработване на потребителски управляващи алгоритми, избор на двата стандартни типа ПИД регулатори позиционен и скоростен и задаване на параметрите  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  на управляващите ПИД регулатори.

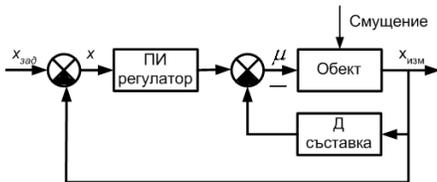
В PLC, например PS4 – 341 на фирма Moeller, също са заложили стандартните ПИД регулатори [4].

Целта на статията е да се покажат възможностите за реализация на модифицирани ПИД регулатори с PLC и да се направи сравнение със стандартните ПИД регулатори, заложили в устройствата.

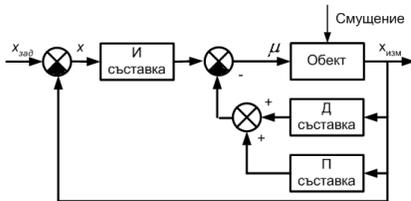
## ИЗЛОЖЕНИЕ

При работа с регулаторите се приема, че входният сигнал на регулатора (без значение аналогов или цифров) е грешката в управлението. Редица фирми – производителки на регулираща техника, в последно време възприемат друга концепция по този въпрос, а именно – входът на регулатора да се разглежда като съставен от грешката и текущата стойност на регулируемата величина в

различни комбинации спрямо изградените съставки в закона на регулиране. Интегралната съставка обаче винаги се изгражда на основата на грешката. По този начин се гарантира астатизъм в управлението. На фиг. 2. е показана САР с ПИД регулатор, при който само П и И съставките се формират на основата на грешката. Диференциалната съставка се формира само от текущата стойност на регулируемата величина  $x_{изм}$ .



Фиг. 2. ПИД- регулатор с Д- съставка, базирана на текущата стойност на регулируемата величина



Фиг. 3. Регулатор с П- и Д- съставки, изчислени в зависимост от текущата стойност на измерваната величина.

При постоянно задание действието на ПИД регулатор с Д съставка, формирана само по текущата стойност на регулируемата величина, е напълно аналогично на действието на ПИД-регулатор, при който и трите компоненти се получават на основата на грешката в регулирането. Предимството на този начин на формиране на ПИД закон се изразява при преходните процеси по задание. Те са по-плавни, тъй като диференциалната част се получава не от грешката (която в случая със скок се изменя при изменение на заданието), а от текущата стойност на регулируемата величина, изменяща се значително по-бавно от грешката вследствие на инерционността на обекта. Цифровият ПИД закон в този случай има вида (1):

$$\mu[nT] = \left( k_p + \frac{k_p T}{T_u} \right) x[nT] - \frac{k_p T_d}{T} x_{изм}[nT] - k_p x[(n-1)T] + 2k_p T_d x_{изм}[(n-1)T] - \frac{k_p T_d}{T} x_{изм}[(n-2)T] \quad (1)$$

Втората предложена модификация на цифров ПИД регулатор, при която П и Д- съставките се реализират на основата на текущата стойност на регулируемата величина е представена на фиг. 3. При тази схема на ПИД регулатора преходният процес по задание е още по-плавен в сравнение с този от фиг. 2. Изходният сигнал на този цифров ПИД регулатор е:

$$\mu[nT] = -k_p x_{изм}[nT] + \frac{k_p T}{T_u} \sum_{i=0}^n x[iT] - \frac{k_p T_d}{T} \{ x_{изм}[nT] - x_{изм}[(n-1)T] \} \quad (2)$$

Пропорционалната съставка се явява една твърда обратна връзка, с която се стабилизира регулируемата величина. Пропорционалната и диференциалната съставка в закона на регулиране образуват вътрешния контур на управлението, а външният се реализира чрез интегралната съставка.

За реализиране на модифициран ПИД регулатор е избран PLC – PS4 – 341 на фирма Moeller, поради по-големите функционални възможности, които предоставят както контролера, така и специализираната софтуерна среда Sucusoft S40, използвана за програмирането и тестването му.

PLC PS4-341 има следните основни характеристики:

- 16 цифрови входа (24V DC)
- 2 аналогови входа (0-10V, 12Bit)
- 14 цифрови изхода (24V DC, 0.5A)
- 1 аналогов изход (0-10V, 12Bit)
- До 5 локални разширения
- До 30 мрежови разширения (максимален брой входове и изходи в системата 8500)
- RS485 (Suconet K) и RS232 комуникация
- Визуализация посредством M14/MV4 (Suconet K, RS232) или на PC (RS232)
- Захранване 24V
- Цикличност – 0.5ms за 1кВ двуични инструкции
- Светодиодна индикация за състоянието на входовете и изходите

Типични приложения са:

- самостоятелно или с локални разширения – за управление на средни и големи системи, включително изграждане на регулатори по затворен контур, позициониращи системи и др.
- в състава на системи може да работи като основен (master) или активен подчинен (activ slave). За разлика от пасивните подчинени устройства активните такива изпълняват самостоятелна програма и обменят двупосочно информация с основния контролер. Този контролер може да се използва като основен или като активен подчинен в средни и големи системи.

Допълнителни характеристики на PLC PS4-341 са:

- операции върху бит, байт, дума, целочислено, стринг, дата, време, масиви, потребителски дефинирани структури;
- аритметика с плаваща запетая;
- операционна система за работа в реално време (презареждаема);
- диагностични функции – контрол на вътрешните напрежения, времетраенето на цикъла, състояние на паметта;
- алармен вход;
- връзка с фоторастеров преобразувател.

За всяка модификация на ПИД закона е съставен алгоритъм, който се използва за създаване на програмния код, представени в табл. 1 и табл. 2, за една от модификациите (при която и пропорционалната и диференциалната съставки се изчисляват въз основа на регулируемата величина), за останалите е аналогично.

В табл. 1 и табл. 2 променливите са следните:

- $M_{re}$  е управляващото въздействие;
- $P_{re}$  - пропорционалната съставка;
- $I_{re}$  - интегрална съставка;
- $D_{re}$  – диференциална съставка;
- $E1_{re}$  – грешка в настоящия момент;
- $E2_{re}$  – грешка в предходния момент;
- $Es_{re}$  – сума на грешките от всички предходни моменти;
- $Kr_{re}$  – коефициент на пропорционалност;
- $Td_{re}$  – диференцираща времеконстанта;
- $Ti_{re}$  – интегрираща времеконстанта;
- $T$  – период на дискретизация.

Таблица 1

Блок схема и програмна част за реализиране на модифициран ПИД регулатор

Блок схема	Програмен код
	<pre>LD Xi1_re      (*начало изч. D-съставка*) ADD Xi3_re SUB ( 2.00 MUL Xi2_re ) MUL Td_re MUL Kr_re DIV T ST D_re      (*D-съст. изчислена*) REAL_TO_INT  (*съгл. на формата*) ST D        (*присвои на съотв. маркер*)  LD I_re      (*начало изч. M_re*) SUB D_re ADD P_re ST M_re     (*M_re изчислено*) REAL_TO_INT  (*съгл. на формата*) ST M        (*изведи на изхода*) ST M M      (*присвои на съотв. маркер*)</pre>

Таблица 2

Блок схема и програмна част за реализиране на модифициран ПИД регулатор

Блок схема	Програмен ред
	<pre>LD Xi1_re      (*начало изч. P-съставка*) MUL Kr_re ST P_re      (*P-съст. изчислена*) REAL_TO_INT  (*съгл. на формата*) ST P        (*присвои на съотв. маркер*)  . . LD I_re      (*начало изч. M_re*) SUB D_re SUB P_re ST M_re     (*край изч. M_re*)</pre>

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Направено е сравнение между реализиране на стандартен и описаните по-горе модифицирани ПИД закони за регулиране, като е използван PLC – PS4-341 и интегрираната развойна среда Sucasoft S40.

Сравнението е извършено по следните критерии:

- време за изпълнение;
- заемана памет;
- проблеми при приложението.

Определянето на времето за изпълнение на всеки от ПИД регулаторите се извършва от програмната среда, като се използват функциите на системния часовник, който позволява да бъде настроен и да му се задава време за преизчисляване и време за наблюдение на промените в променливите.

Резултати от сравнителен анализ при реализирането на стандартен и модифицирани ПИД закони за регулиране

Вид регулатор	Използвана памет, Bytes, Code/Data	Време за изчисление, ms
Позиционен с И ефект	5632/274	0,7
Позиционен с ПИ ефект	5632/274	0,9
Стандартен позиционен с реални числа	5472/266	0,9
Стандартен позиционен с цели числа	1970/228	0,8

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Употребата в промишлени условия на модифицирани ПИД-алгоритми, вместо стандартни значително подобрява качеството на системите за управление като цяло, тъй като предотвратява формирането на стойности на управляващото въздействие, надхвърлящи допустимите за обекта в началния момент на смущение по задание. В режим под товар регулатора ще работи като класически.

Използването на стойности в реален формат, вместо такива от целочислен, в конструкцията на разгледаните алгоритми увеличава почти тройно обема на програмния код и с 0,1 ms времето за изпълнение на един негов цикъл. Първият негатив се компенсира от факта, че се елиминира грешката от закръгление (чието наличие би било значителен проблем – невярна стойност на управляващото въздействие). Втората особеност може да бъде пренебрегната в случая, тъй като продължителността на един програмен такт е от порядъка на 30÷50 ms.

Реализирането на модифицираните ПИД алгоритми не увеличават обема на паметта за данните и времето на изпълнение на програмата.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Гарипов Е., Цифрови системи за управление, Част 1, Проектиране на ПИД регулатори, ТУ – София, 2004.

[2] Ружеков Г., Д. Събев, Някои практически аспекти на приложението на ПИД регулатори с програмируеми логически контролери, Автоматика и информатика, 2006, 4, стр. 21 – 24.

[3] Daskalov, P., B. Tekin, K. Sindir. Application of information technologies in the Precision agriculture courses, Proceedings of International Conference „Engineering, technology and education – 2007”, 5 - 6 July 2007, Yambol, Bulgaria

[4] [www.moeller.bg](http://www.moeller.bg)

### БЛАГОДАРНОСТ

Изследванията са проведени по договор ДО 02-47/10.12.2008 г., финансиран от Министерството на образованието, младежта и науката.

### За контакти:

гл. ас. д-р Цветелина Драганова, Катедра “Автоматика, Информационна и Управляваща Техника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 668, e-mail: [cgeorgieva@uni-ruse.bg](mailto:cgeorgieva@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**