

РОБАСТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С РЕГУЛИРУЕМА ВЕЛИЧИНА НИВО

Весела Карлова-Сергиева, Александър Маринчев

Резюме: *Работата представя приложението на условната обратна връзка при синтеза на закон за управление на лабораторен обект с регулируема величина ниво. Синтезира се управляващ алгоритъм, който гарантира робастност, в различни работни точки на обекта. Провеждат се симулационни изследвания, последвани от практическа експериментална част.*

Ключови думи: *Система за управление с условна обратна връзка, робастност*

ROBUST LEVEL CONTROL OF TANK SYSTEM

Vessela Karlova-Sergieva, Alexander Marinchev

Abstract: *This paper represents the application of a conditional feedback design method for the case of a laboratory-level control. An algorithm that guarantees robustness at various plant operating points was synthesized. Simulation research followed by an experimental practice was performed.*

Keywords: *Control system with conditional feedback, robustness*

1. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Управлението на обекти с регулируема величина ниво е задача, която продължава да бъде изследвана поради своята популярност в редица индустриални производства. Проектират се и се прилагат разнообразни алгоритми за управление, като всеки от тях съдържа подобрени характеристики и дава по-големи възможности на инженерите.

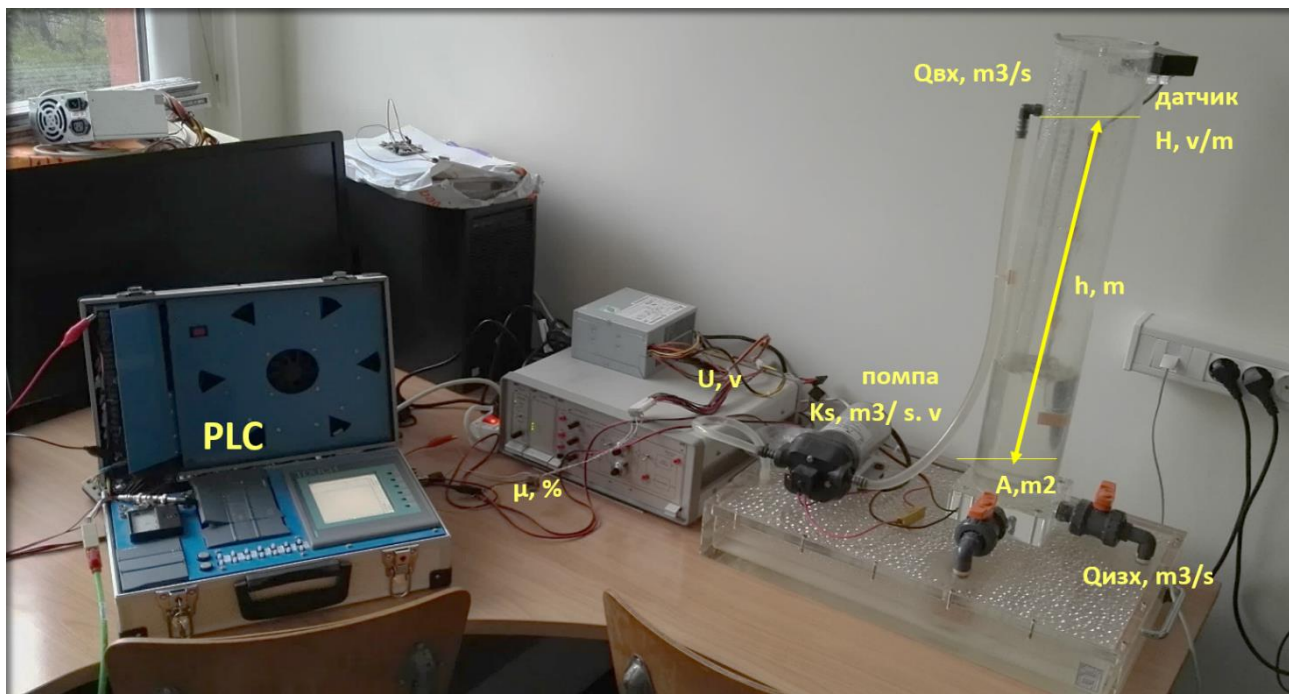
Целта на настоящата работа е да се извърши синтез на управление с условна обратна връзка, което гарантира достигане на задание на величината ниво в лабораторна резервоарна система, с определено качество, в различни работни точки. Предложеното управление се базира на подход, който представя нелинейността в математическото описание на обекта като диапазон от неструктурирана неопределеност и се свежда до работа на проектанта с множество линейни обекти.

Задачите, които се решават в разработката са:

- идентификация на модел на обекта за управление;
- синтез на алгоритъм за управление;
- проверка и потвърждение на резултатите в симулационен режим на работа на резервоарната система;
- проверка и потвърждение на резултатите в практически работен режим на резервоарната система.

2. ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА, МОДЕЛИРАНЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Лабораторният стенд за регулиране на ниво е представен на фиг.1, като неговите технически данни и характеристики са подробно описани в [1]. Техническите средства, с които се реализира автоматичното управление са дадени в [2].



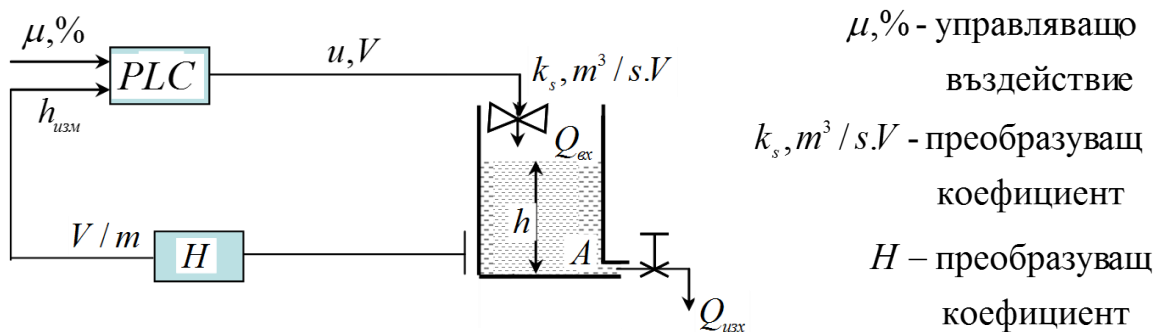
Фиг.1.

Диференциалното уравнение, получено от лабораторния модел на резервоара, при който е необходимо да се поддържа ниво на течност h, m , при управляващо въздействие входен поток $Q_{вх}, [m^3/s]$ има вида (1):

$$A \frac{dh(t)}{dt} = Q_{вх}(t) - a_z S_n \sqrt{2gh(t)}, \quad (1)$$

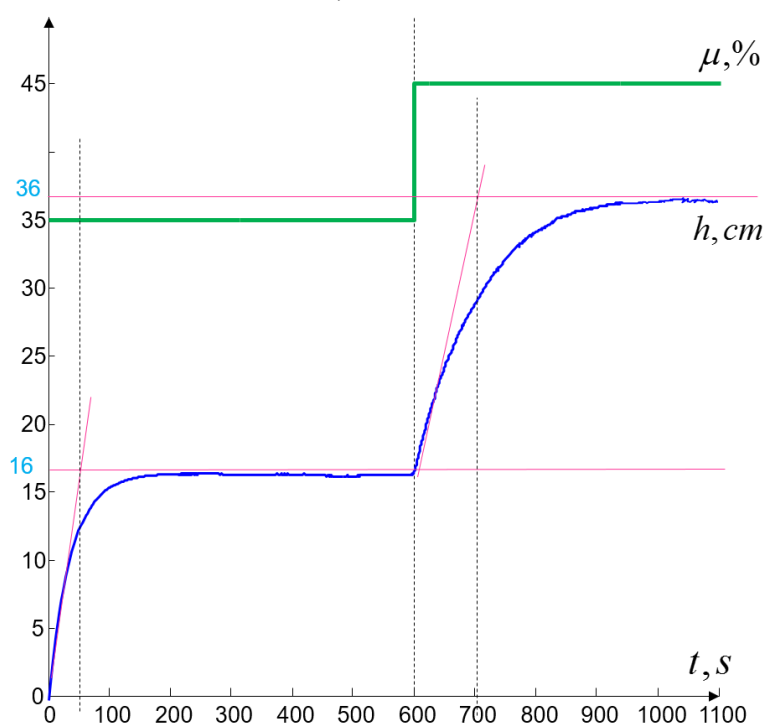
където $A, [m^2]$ - площ на резервоара, $S_n, [m^2]$ - площ на напречното сечение на изпускателен кран, a_z - количество изтичаща течност, променлив коефициент $0 < a_z < 1$, g - земното ускорение $g = 9.806 m/s^2$.

Входният поток $Q_{вх}$ е функция на времето. Изходният поток е моделиран като нелинейна функция на нивото на течността. Площта на резервоара, коефициента на свободно изтичане и сечението на изпускателния кран са постоянни. По-нататък са проведени експерименти за идентифициране на модела на обекта с регулируема величина ниво, съгласно функционалната схема представена на фиг.2.



Фиг.2.

На фиг.3 са визуализирани преходните процеси на обекта с регулируема величина ниво, получени чрез провеждане на експеримент за серия от двустъпково изменение на мощността на помпата $\mu, \%$.



Фиг.3.

В резултат на проведените експерименти в две работни точки е получен модел на обекта, описан с (2):

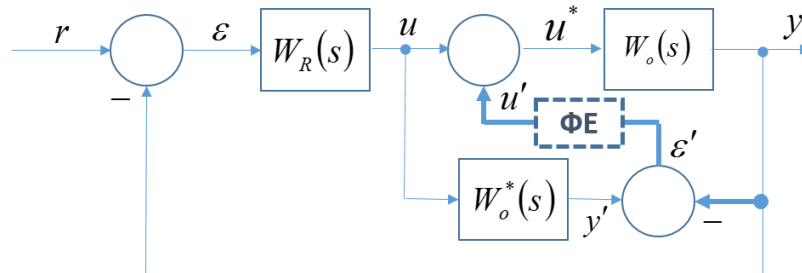
$$W_o(s) = \frac{h(s)}{\mu(s)} = \frac{k}{Ts + 1}, \quad (2)$$

където параметрите са $k \in [0.46, 2], cm/\%$, $T \in [50, 100], s$.

Изразът (2) показва значителна промяна в параметрите на обекта при промяна на работната точка. Това налага да се търсят решения, които да доведат до постигане на независимост на управляващия алгоритъм от предварително известна промяна на работните условия.

3. СИНТЕЗ НА УПРАВЛЯВАЩ АЛГОРИТЪМ, ПРОГРАМНА РЕАЛИЗАЦИЯ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

Удачен избор на управляващ алгоритъм се явява включването на условна обратна връзка и вътрешен модел на обекта за управление към основния закон за управление [3], фиг.4.



Фиг.4.

За номинален обект е приет обектът, при модела на когото параметрите са в долната част на изменение и се обхващат ниските нива на резервоарната система, (3).

$$W_o^*(s) = \frac{0.46}{50s + 1} \quad (3)$$

За смутен на най-горна граница обект се приема обектът, чийто параметри характеризират високите нива на резервоарната система, (4).

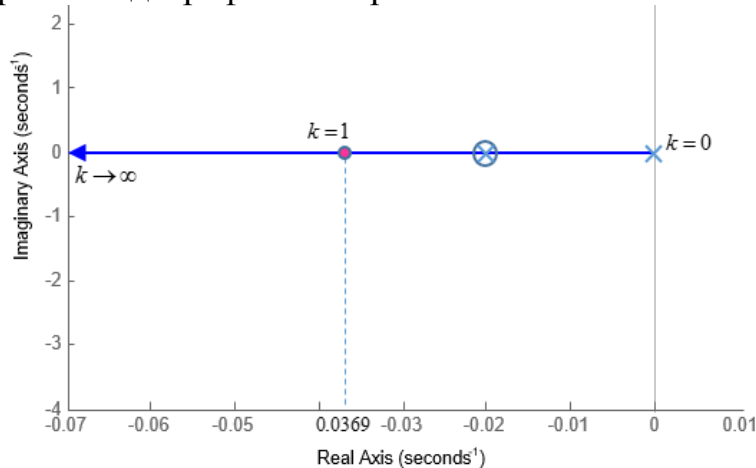
$$W_o(s) = \frac{2}{100s + 1} \quad (4)$$

Номиналният регулатор реализира ПИ закон за управление. Настроен е съобразно геометричните и физическите особености на лабораторния стенд и изграждащите го средства за автоматизация. Предавателната му функция има вида (5).

$$W_R(s) = \frac{200s + 4}{50s} \quad (5)$$

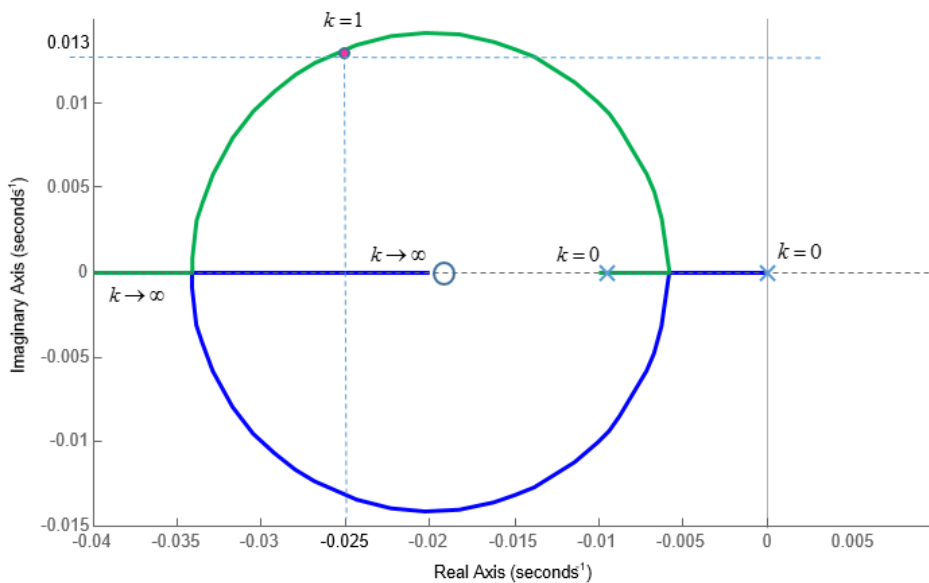
Критерият за качество към системата в номинален режим на работа е апериодичен преходен процес и бързодействие 100 s.

На фиг. 5 е изобразен ходографът на корените на номиналната система.



Фиг.5.

Вижда се от фиг.5, че очакваното бързодействие, оценено с времето на регулиране е $t_s \approx 4.0.0369^{-1} = 108s$. На фиг.6 е изобразен ходографът на корените на системата с номинален регулатор и смутен на най-горна граница обект.



Фиг.6.

От фиг.6 се вижда, че очакваното качество на регулируемата величина в областта на времето ще бъде различно. Нивото ще подмине заданието си, а преходният процес ще приключи два пъти по-бавно.

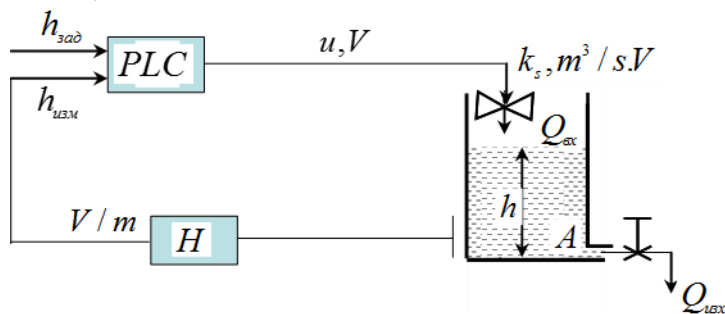
Графоаналитично са оценени пререгулирането чрез изчисляване на незатихващата собствена честота $\omega_n = (0,025^2 + 0,013^2)^{0.5} = 0,028$ и коефициентът на затихване $\xi = \sin(0,025/0,028) = 0,775$, т.е пререгулирането е

$$\sigma \approx \exp\left(\frac{3,14 \cdot 0,775}{\sqrt{1-0,775^2}}\right) \cdot 100\% = 5\% \text{ и бързодействието е } t_s \approx 4.0,025^{-1} = 160s.$$

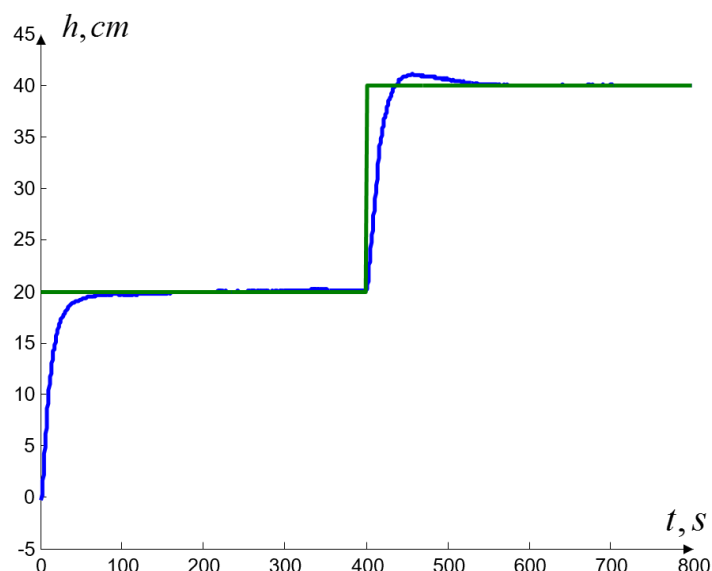
За горенаправените изчисления е използван прототипът на затворената система от втори ред и разположението на комплексните корени и наличието на геометрични връзки в комплексната равнина [4].

На фиг.7 е показана функционалната схема на резервоарната система, като програмно в контролера са реализирани ПИ закон за управление и управление с условна обратна връзка.

На фиг.8 са показани резултати от проведен реален лабораторен експеримент за поддържане на желана стойност регулируемата величина ниво, чрез промяна на заданието в две стъпки, съответно на 20 и 40 см.



Фиг.7.



Фиг.8.

От фиг.8 се вижда, че при промяна на заданието в друга работна точка, различна от номиналната, системата за управление с номинален ПИ регулатор не може да поддържа желаното качество. Показателите на качество, отчетени при експеримента, са както следва за първия и втория преходен процес:

- пререгулиране $\sigma = 0\%$, бързодействие $t_s = 50s$;
- пререгулиране $\sigma = 10\%$, бързодействие $t_s = 100s$.

Проведените експерименти потвърждават аналитичните и симулационни резултати и доказват, че трябва да се търси стратегия за поддържане на желано качество при промяна на заданието за работа на резервоарната система.

Базирайки се резултата от фиг.8 и резултатите в [3] се записва следната предавателна функция на регулатор (6), в чиято структура участва условна обратна връзка и модел на номинален обект, фиг.4.

$$W_R(s) = W_R^*(s)(F(s).W_o(s) + 1)^{-1}(F(s).W_o^*(s) + 1) \quad (6)$$

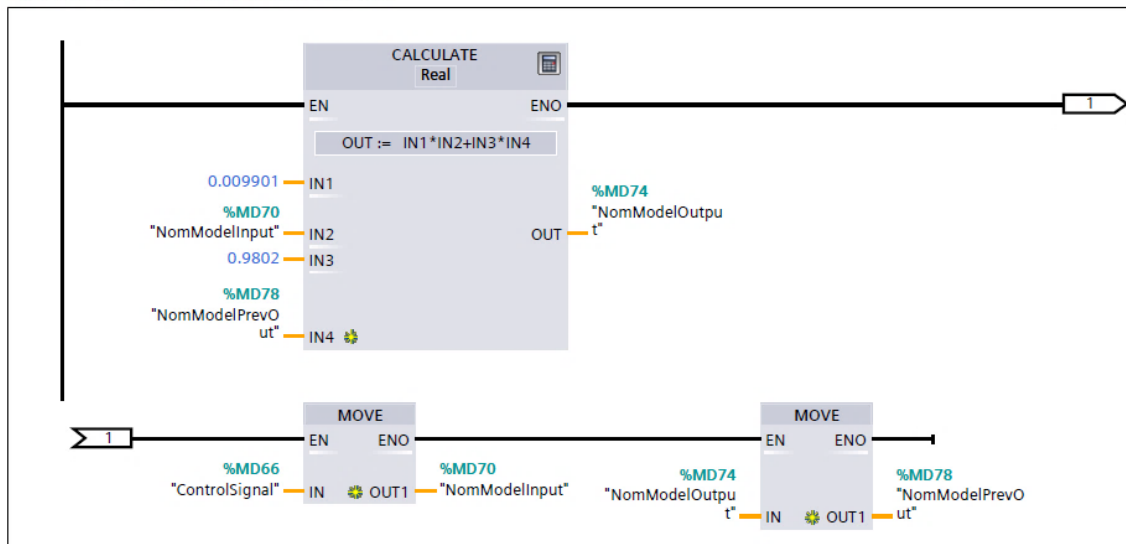
За предавателна функция на формирация елемент ФЕ се предлага $F(s) = 100$.

По-нататък следва поредица от стъпки, за да се реализира програмно регулатора с условна обратна връзка с техническите средства, описани в [2].

Използва се програмният език Ladder Diagram съгласно стандарт IEC 61131-3. От програмните организационни единици на контролера се използват ОВ1 (Main) за независимите от времето операции и ОВ30 (Циклично прекъсване през интервал от 1 секунда) за операциите, които зависят от времето. В ОВ1 се изпълняват преобразуванията от резултата на АЦП в ниво в сантиметри и от проценти управляващо въздействие в стойност за ЦАП. В ОВ30 е реализиран управляващият алгоритъм – той е направен в дискретна форма с такт на дискретизация 1 секунда (равен на интервала на изпълнение на прекъсването). Алгоритъмът за управление се състои от ПИ закон и условна обратна връзка. ПИ законът е реализиран като дискретната форма на интеграла му и представлява прибавяне на стойност към статична променлива.

Взети са мерки срещу превишаване на минималните и максимални стойности на управляващото въздействие (0%-100%) и срещу препълване в променливата, в която се сумира. По-съществено е представянето на частта, която реализира управлението с условната обратна връзка. То е направено в мрежи 7 и 8, като моделът на номиналния обект е в мрежа 7 и е показан на фиг.9.

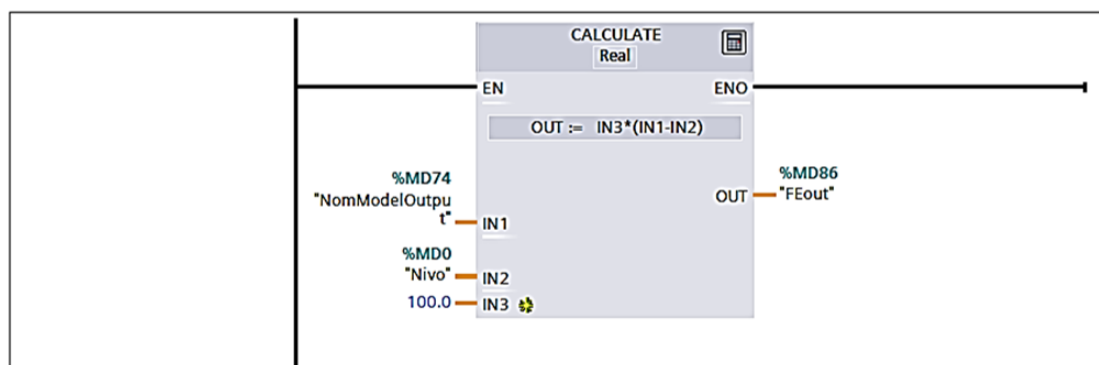
Network 7: Nominalen Model



Фиг.9.

За изчисляването на реакцията на диференчното уравнение, описващо номиналния обект се използва CALCULATE блок, който изчислява дълги аритметични изрази. Входният сигнал на номиналния обект идва от променливата ControlSignal, в която ПИ регулатора записва изчисленото си управляващо въздействие. В мрежа 8 е реализирано изчислението на реакцията на формирация елемент, като за него отново се използва CALCULATE блок както е показано на фиг.10.

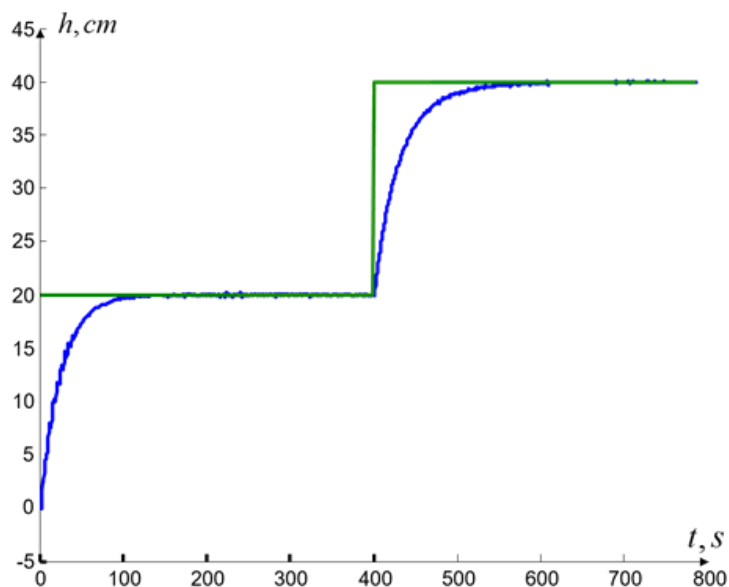
Network 8: Formirasht element



Фиг.10.

В следващите мрежи се извършва сумиране на изхода на ПИ регулатора и на формирация елемент, както и лимитиране на управляващото въздействие в границите от 0 до 100%, с което програмната реализация на регулатора с условна обратна връзка приключва.

На фиг.11 са визуализирани проведените експерименти на системата за регулиране на ниво с предложения алгоритъм за управление с условна обратна връзка.



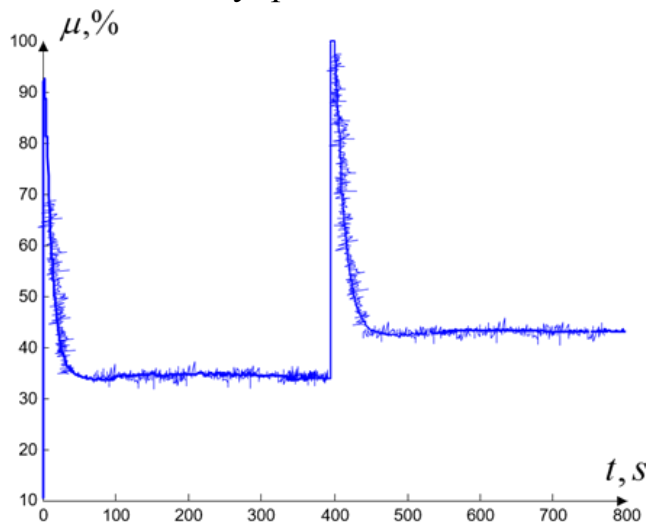
Фиг11.

Промяната на заданието за желана стойност на нивото в резервоарната система, което води до промяна в параметрите на обекта за управление не оказва влияние на изходната величина. Така синтезираната система за управление е нечувствителна към промяната на работната точка. Номиналното качество при промяна на работната точка се запазва и е налице робастност.

4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

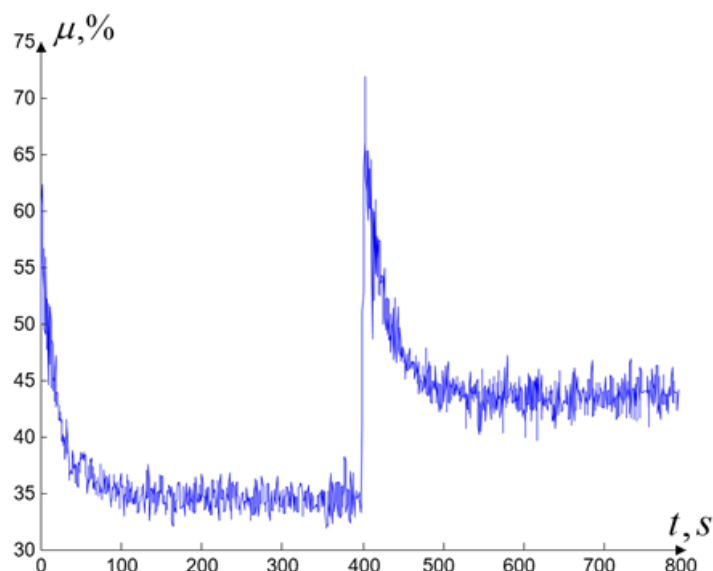
Анализът на резултатите в работата обхваща анализ на вида на управляващия сигнал и честотен анализ на качеството на системата с условна обратна връзка с цел потвърждение на резултатите и в теоретико-научен аспект.

На фиг.12 е показан управляващият сигнал на системата с номинален регулатор. Вижда се, че зони на насищане на управляващо въздействие не присъстват.



Фиг.12.

На фиг.13 е показан управляващият сигнал на системата с регулатор с условна обратна връзка. Вижда се, че зони на насищане на управляващо въздействие тук също не присъстват, както и че големината на управляващото въздействие е по-малка.



Фиг.13.

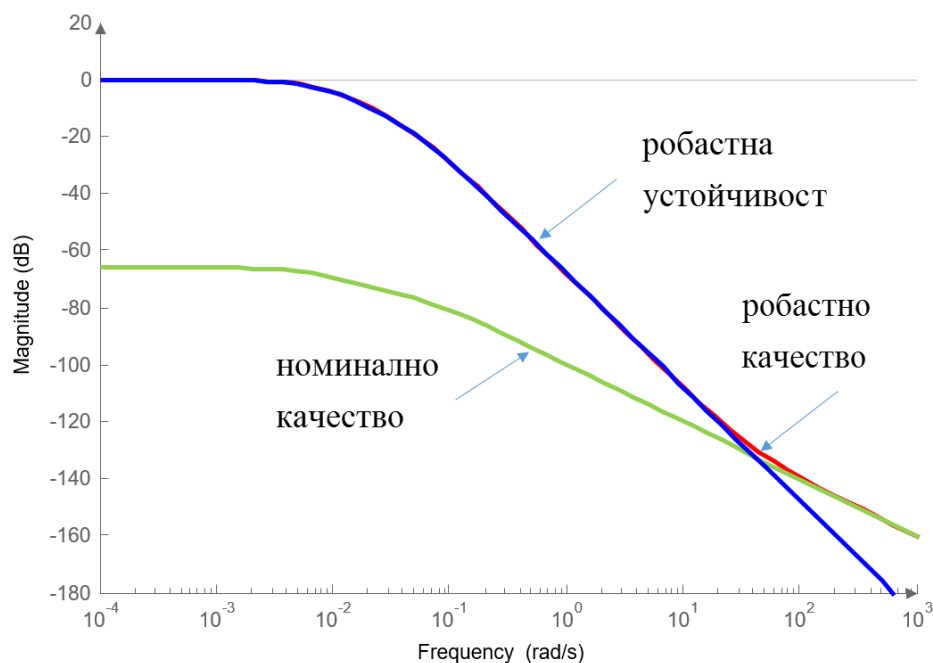
Експерименталните резултати показват, че така проектираната сисема е робастна. Това означава, че при промяна на заданието за работа, регулируемата величина запазва своето качество, независимо, че моделът описващ обекта за управление променя значително своите параметри. Потвърждение на казаното се намира чрез проверка на строгостта на условията за номинално качество, робастна устойчивост и робастно качество, фиг.14,

$$|rS| < 1 \quad (7)$$

$$|w_M T| < 1 \quad (8)$$

$$|w_M T| + |rS| < 1 \quad (9)$$

където S е функцията на чувствителност, T е функцията на допълнителна чувствителност, w_M е относителната грешка между номинален и смутен на горна граница модел на обекта.



Фиг.14.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разработката е синтезиран управляващ алгоритъм, базиран на условна обратна връзка и модел на обекта. Реализиран е в програмна среда.

Проведени са лабораторни експерименти, като са потвърдени и доказани теоретичните предимства от внедряването на алгоритъм за управление с условна обратна връзка за регулиране на обект със статични свойства.

За доказателствена база е използван апарат от теория на управлението и са проведени серия от експерименти в лабораторна среда.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Маринчев, А., В. Карлова-Сергиева, Експериментално изследване на лабораторен стенд „Регулиране на ниво“, Годишник на ТУ-София, т.64, кн.1, стр. 195-200, 2014

[2] Маринчев, А., Карлова-Сергиева В., Синтез на регулатор със свойства подобни на човека оператор при управление на ниво, Международна конференция Автоматика'2015, юбилей “70 години Технически Университет-София“, Годишник на ТУ-София, т.65, кн.1, стр. 185-195, 05.06 – 07.06, Созопол, 2015

[3] Карлова, В., Системи за управление с условна обратна връзка, Годишник на ТУ-София, т.66, кн.2, стр. 181-187, 03.06 – 05.06, Созопол, 2016

[4] Dorf R. C., R. H. Bishop (2008), Modern control systems 11thed, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, N.J. 07458, 2008

Автори: Весела Ангелова Карлова-Сергиева, доц. д-р, м катедра „Автоматизация на непрекъснатите производства“, Факултет Автоматика, ТУ-София, E-mail address: vaks@tu-sofia.bg; Александър Пламенов Маринчев, асистент д-р, маг. инж., катедра „Автоматизация на непрекъснатите производства“, Факултет Автоматика, ТУ-София, E-mail address: amar@tu-sofia.bg

Постъпила на 05.05.2017 г.

Рецензент: доц. д-р Нина Николова