

**РАЗМИТ ПИДД² РЕГУЛАТОР ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ВИБРАЦИОНЕН
ЗАХРАНВАЩ МОДУЛ****FUZZY PIDD² CONTROLLER FOR VIBRATORY BOWL FEEDER****Georgi Mihalev**
*Technical University of Gabrovo***Stanimir Yordanov**
*Technical University of Gabrovo***Abstract**

Ensuring the process of supplying automated lines with vibratory bowl feeders is associated with problems regarding various parametric uncertainties of the system. One of the approaches to solving these problems is through choosing a suitable control device to improve the robustness of the system. A fuzzy PIDD2 controller has been implemented and simulated, basic structure of the controller is shown, basic functional dependencies are also presented. An analysis of the quality of regulation based on the transfer processes, amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the closed system, has been made.

Keywords: vibratory bowl feeder; fuzzy logic; fuzzy PIDD² controller.

ВЪВЕДЕНИЕ

Несъмнено една от най-бързо развиващите се научни области е компютърната интелигентност. Под компютърна интелигентност се разбира методология, включваща изчисления, показващи възможности за обучение и/или за справяне с нова ситуация, такава, че системата се възприема като притежаваща един или повече атрибути от разсъждения, като обобщение, откриване, асоцииране и абстракция [1]. Развиването и пренасянето на системите за управление в областта на компютърната интелигентност води до много добри резултати и продуктови постижения и се наричат интелигентни системи за управление. Интелигентните системи за управление съумяват да обединят и двата основни акцента на компютърната интелигентност, както интеграционния характер, така и технологията основаваща се на нови подходи за обучение, позволяващи да се постигне по-високо ниво на разсъждение. В зависимост от конкретната приложна задача, с която трябва да се справят, интелигентните системи за управление използват един или няколко от вече известните методи за интелигентно управление,

като повечето от които са се обособени вече, като отделни научни дисциплини.

Един от най-често използваните похвати при реализирането на интелигентни системи за управление е размитата логика. Тя се базира на теорията на размитите множества, където принадлежността на даден обект към определен клас се отъждествява не просто с това дали е или не е член. Размитата логика използва целия интервал от числа за да се изгради нова логика, като основа за правилата за вземане на решение. Наподобява се приблизителното мнение на човека, което позволява на компютърната система да се отдалечи от точната логика и да се приближи към реалната ситуация [2,3].

В настоящата статия се проектира и реализира хибриден размит ПИДД² регулатор за управление на вибрационен хранващ модул. Подходът към реализацията на такъв тип управляващо устройство е съобразен с концептуално изискване за използване на интелигентни методи за управление в общата структура на управляващата система на хранващия модул. Размитите регулатори реализират нелинейни закони за регулиране, това налага анализа на затворената система да се извършва на база на пре-

ходния процес по задание, АЧХ и ФЧХ на затворената система.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Спадайки към методите за интелигентно управление на технологични обекти, размитите контролери и производните им хибриди с линейните закони за регулиране, отговарят на концептуалния критерий при проектираното управление на вибробункер и не могат да се пропуснат при изследването на качествата им за регулиране на амплитудата на трептене на вибробункер. Въпреки, че на пръв поглед задачата за управление на обект с неструктурирани параметрични смущения, не в ресора на размитите логически контролери, те могат да покажат известни качества в повишаването на робастността на системата.

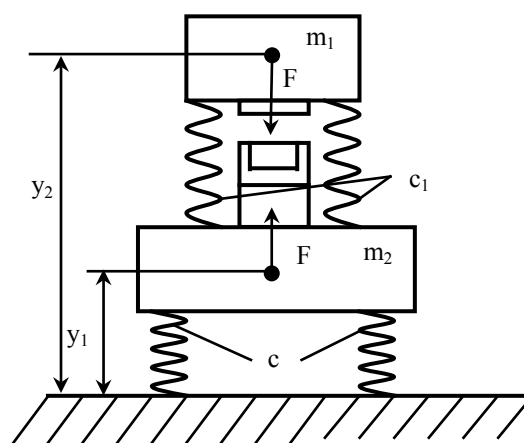
Управляващите устройства на базата на размита логика се очертават, като едно от най-изследваните направления в теорията на размитите множества, като успешно се прилагат при управление на сложни технологични обекти. Методологията на размитите контролери се базира на изразяване на управляващите въздействия на контролната система, не чрез математически уравнения, а посредством лингвистични правила. Ситуацията представлява съчетание от стойности на всички входове, а действието е формиране на изходна реакция на базата определените правила.

Имайки предвид големия интерес към размитите контролери, следва да се разработят и изследват хибридни комбинации с линейните закони за регулиране и в частност ПИДД² закона. Първият вид генерира управляващо въздействие u , базирано на комбинация от три входни величини - системната грешка e , моментното ѝ изменение Δe и кумулативната сума на грешката Σe . При втория вид изходната величина е моментното изменение на управляващото въздействие Δu въз основа на комбинация от други три величини - системната грешка e , моментното ѝ изменение Δe и ускорението $\Delta^2 u$, явяващо се втора обратна връзка, реализирана посредством сензор за измерване на ускорения (акселерометър). Втория тип управление е възможен само когато има пъ-

лен достъп до вектора на състоянието на обекта.

ОБЕКТ ЗА УПРАВЛЕНИЕ

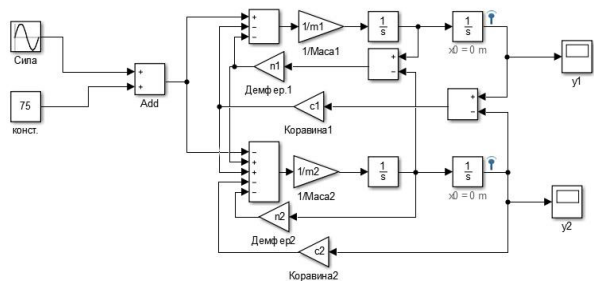
Най-често използваното устройство за обезпечаване на процеса на захранване на автоматичните линии с правилно ориентирани детайли е вибрационно захранващо и ориентиращо устройство, наричано за по-кратко вибробункер. Вибробункерът е една от машините работещи в режим на резонанс, едно негативно явление, което в повечето системи не трябва да настъпва. Тясно свързано с дизайна на чашата е и механиката на вибриращата основа. Според съществуващи проучвания [4], чрез настройка на параметри на вибриращата система като амплитуда, честота, коефициент на рестрикция и други, може да се контролира поведението на детайлите в чашата. Препоръчва се контролиране на ускорението на определен регион, за да се получат периодични трептения и съответно ефективно преместване на детайлите. Вибробункерът може да бъде представен във вид на двумацова трептяща система с две степени на свобода, показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Опростена схема на вибробункер

Масата m_2 представлява основата на устройството, разположена на пружини имащи ролята на амортизьори с малки коравини c_2 . Чашата на вибробункера е представена във вида на масата m_1 , разположена на еластично окачване с коравина c_1 . На всяка от масите действат възбудителните сили на вибратора, които са равни по големина и обратни по посока.

За тестване на алгоритъма за управление е разработен симулационен модел на вибробункер, като двумасова трептяща система със същите параметри като на реален обект. Моделът на обекта е разработен в среда на Matlab/Simulink и е даден на фиг. 2.



Фиг. 2. Симулационна схема на вибробункер в среда на Matlab/Simulink

Представената по-горе симулационна схема реализира диференциалните уравнения на вибробункер, с отчитане на коефициентите на загубите в еластичните елементи (1).

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1 + n_1 (\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + c_1 (y_1 - y_2) = u \\ m_2 \ddot{y}_2 - n_2 \dot{y}_2 + n_1 (\dot{y}_1 - \dot{y}_2) - c_2 y_2 + c_1 (y_1 - y_2) = -u \end{cases} \quad (1)$$

където y_1 е положението на горната маса, y_2 е положението на долната маса, а u е силата, която действа върху масите. За входен сигнал е избрана синусоидална форма на приложената сила, което е най-добрият вариант за формата на входната сила, като големината на силата се равнява на 50 % натовареност на електромагнитите. В реална среда това е максималната натовареност, която може да се използва за осигуряване на необходимата скорост за движение на детайлите.

Вибробункерът, описан с математичния модел даден с диференциални уравнения (1), в реалната обстановка се характеризира с параметрични неопределености на пет от шестте параметъра, а в някои специфични ситуации и на всичките шест.

В представената на фиг. 2 симулационна схема на устройството стойностите на параметрите се заменят с нови елементи включващи параметричните неопределености, които са съответно 30% неопределеност в горната маса, 20% неопределеност в коравината на горните пружини, 10 % неопределеност в горния коефициент на демпфери-

ране, 20 % неопределеност в коравината на долните пружини и 10% неопределеност в съответно долния коефициент на демпфиране.

РАЗМИТО ПИДД² УПРАВЛЕНИЕ ЗА ВИБРОБУНКЕР

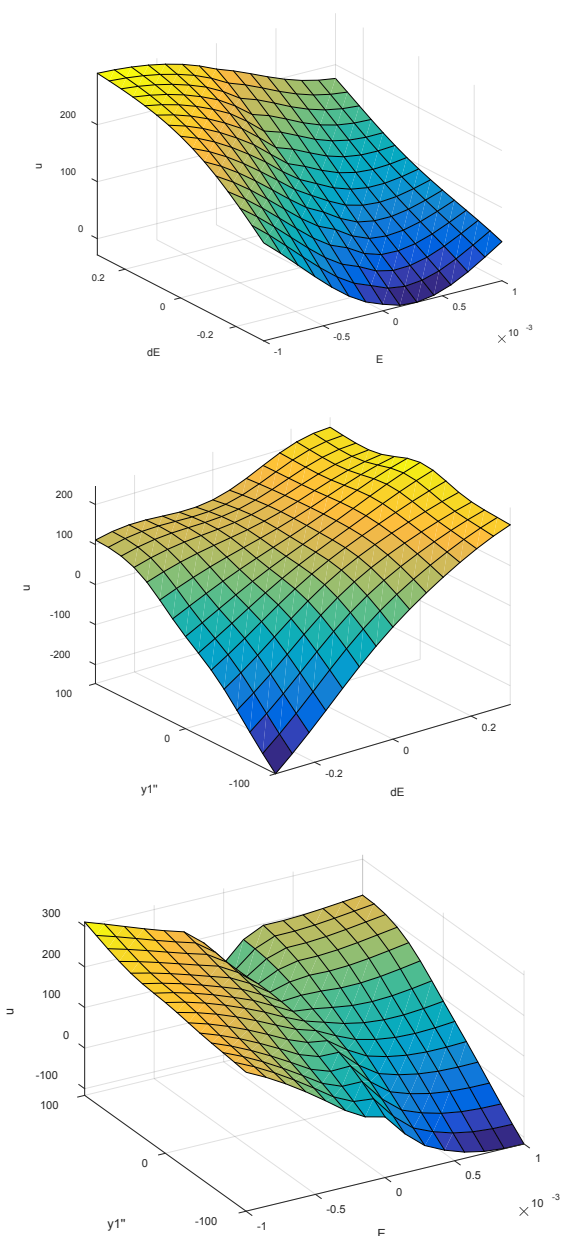
При проектиране на хибриден вариант на размит регулатор с линеен закон за регулиране, може да се каже, че трябва да се изградят и настройат две основни части – размитата структура и структурата изграждаща линейния закон за регулиране. Тъй като при един общ хибриден вариант на размит регулатор двете части са взаимосвързани и участват в една обща структура, се прибегва до по-особена форма на представяне на линейния закон за регулиране, при която константите се заменят от коефициенти на усилване на входа и изхода на размитата структура. Това позволява поотделно изграждане на двете части и по-лесна настройка. Използването на този похват е особено полезен за случаите, като този, при които не е известен аналитичен метод за настройка на използваното управляващото устройство.

Размитата структура на проектирания регулатор е изградена в среда на Matlab/Simulink. Тази структура представлява конвенционален размит регулатор имащ всички основни блокове, осигуряващи основните функции на FIS структурата, а именно – нормализиране на входните данни, блок за размиване (фъзифициране), блок за размита обработка (линг. правила), блок за деразмиване (дефъзифициране) и денормализиране на изходните данните.

Тъй като е по-лесен, удобен и по-широко застъпен в практиката се избира вариант на регулатора с механизъм на извеждане на Сугено [5]. Този вариант позволява по-лесно проектиране (по-малък размер на таблицата с логическите правила), особено както в конкретния случай, когато размитите множества на входно-изходните величини са по-големи.

Така реализираната размитата FIS структура е модел на Сугено с метод за размита импликация на базата на мащабиране на последващата функция за членство от предходна стойност на резултата. При метода за

агрегация на зададените правила се сумират последователно зададените размити множества. За блока на деразмиване, реалните стойности се получават, чрез един от известните методи за модела на Сугено, а именно чрез претеглена сума от всички изходи на логическите правила.

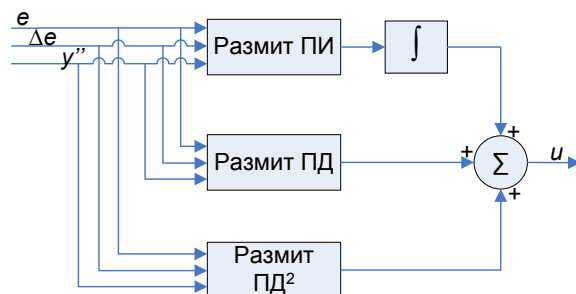


Фиг. 3 Триизмерни проекции на изхода спрямо различните входове на размития регулатор

Тъй като на входа на размития контролер влизат три променливи, не е възможно да се покаже обща графика на изхода спрямо входовете. Поради тази причина на фиг. 3 са показани триизмерни проекции на два

входа спрямо изхода на регулатора при 49 зададени логически правила.

За размит ПИДД² регулатор за вибробункер е избрана типова структура реализираща паралелно размито ПИ, с паралелно размито ПД и размито ПД² управление и е показана на фиг. 4.

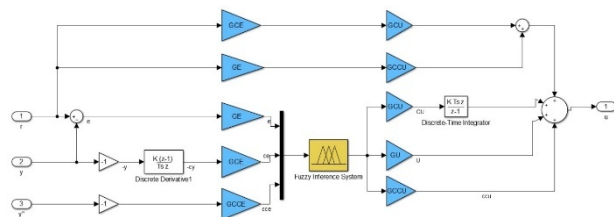


Фиг. 4. Типова структура на размито ПИД управление с паралелно размито ПД и ПД² управление.

Предимство на тази структура е, че не се използват конвенционални елементи и че може да се избегне комплексното проектиране на логическите правила и функциите на принадлежност. Особено полезно е по отношение на проектирането, че ПИ, ПД и ПД² съставките ползват едни и същи логически правила и функции на принадлежност. Аналитичен начин за настройка на размития ПИДД² не е известен, но може да се надстройва само чрез промяна на пропорционалния коефициент и настройка на коефициента на втората производна. Крайното управляващо въздействие се получава като сума от изходните сигнали на трите регулатора:

$$u(k) = u_{\text{ПИ}}(k) + u_{\text{ПД}}(k) + u_{\text{ПД}^2}(k) = u(k-1) + \Delta u(k) + u_{\text{ПД}}(k) + u_{\text{ПД}^2}(k) \quad (2)$$

На фиг. 5 е представена симулационната схема на размития ПИДД² регулатор в среда на Matlab/Simulink.



Фиг. 5. Симулационна схема на размито ПИДД² управление в среда на Matlab/Simulink

При реализирането на размития ПИДД² регулатор се използва същата размита структура на Сугено представена в предходната подточка, като разликата идва от премахнатия трети вход (ускорението на горната маса). Набора от функции на принадлежност се запазва, като промени са направени по отношение на изходните стойности на изхода на блока. Обемът от лингвистични правила се оставя непроменен. В представената блок схема се използва промяната на измерването ($y(k)-y(k-1)$) вместо промяната на грешката ($e(k)-e(k-1)$), като втори входен сигнал към размитата структура. По този начин се предотвратява стъпаловидната промяна в референтния сигнал, дължащ се на директното задействане на диференциалния блок. Тази промяна обаче налага и промяна в структурата на регулатора за да остане той непроменен. Конвенционалните коефициенти за замяне с входни и изходни коефициенти на усилване GCE , GCU , GE , GU , $GCCE$ и $GCCU$, които също така се и използват за мащабиране (нормализиране и денормализиране) на сигналите. Стойностите на новите коефициенти са във функционална зависимост от стандартните и могат да се изчислят по формулите:

$$GE = 10; \quad GCCE = 100; \quad GCU = \frac{K_i}{GE}$$

$$GCE = \frac{-GE^2 K_{dd} + K_p GCCE \cdot GE}{2K_i GCCE} +$$

$$+ \sqrt{\frac{GE^2 K_{dd}^2 - 2GEK_{dd}K_p GCCE + K_p^2 GCCE^2 - 4K_i GCCE^2 K_d}{2K_i GCCE}} \quad (3)$$

$$GU = \frac{K_d}{GCE}, \quad GCCU = \frac{K_{dd}}{GCCE}$$

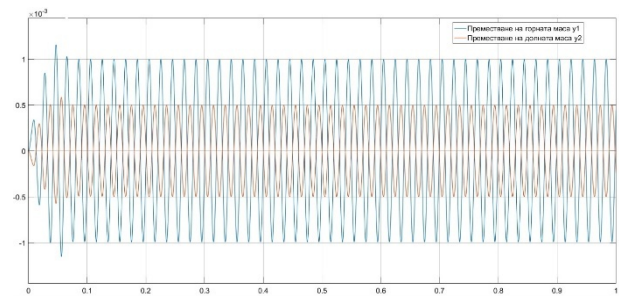
При изчисление на новите коефициенти единствено GE и $GCCE$ се определят предварително и зависят от зададените граници за входа на грешката в размитата структура, тъй като са коефициенти на усилване на физически измервани величини.

АНАЛИЗ И РАБОТА НА СИСТЕМАТА С ПРОЕКТИРАНОТО ПИДД² УПРАВЛЯВАЩО УСТРОЙСТВО

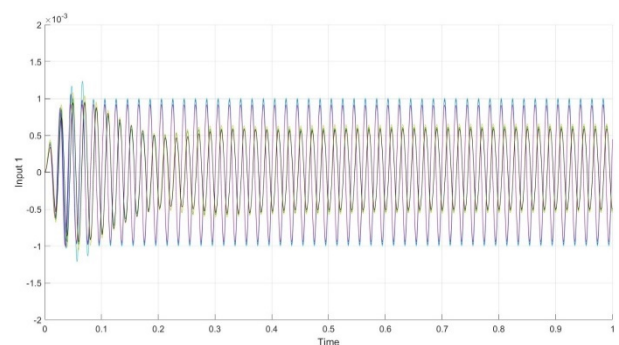
За обекта за управление е реализирана симулационна схема в среда на Matlab/

Simulink, съдържаща размития регулатор и обекта за управление (вибробункера). Анализа на качеството на регулиране се прави въз основа на параметрите на преходния процес, АЧХ и ФЧХ характеристики на затворената система.

На фиг. 6 и фиг. 7 са представени съответно графики от симулация на затворената система с размит ПИДД² регулатор за обект с номинални стойности на параметрите и с параметрични неопределености.



Фиг. 6. Преместване на горната и долната маса на затворената система с размито ПИДД² управление

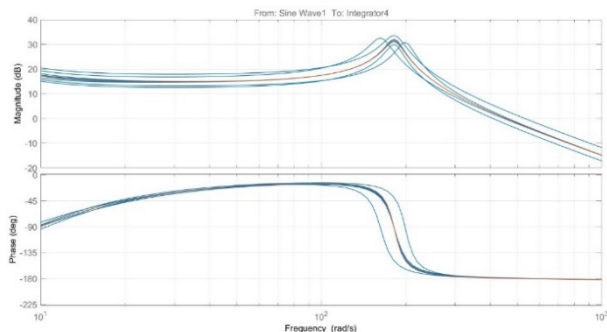


Фиг. 7. Преместване на горната и долната маса на системата с размито ПИДД² управление

От представените графики при управление с размит ПИДД² регулатор се вижда добрия преходен процес на системата при номинални параметри. Времетраенето на преходния процес е с продължителност под 0.1 секунда, а пререгулирането е под 15%. Характерното отместване за размитите регулатори в преместването на изхода на системата не се наблюдава.

От фиг. 7 може да се заключи, че регулаторът не постига добра робастност на системата, като максималното отклонение от заданието е 40%, преходните процеси не са еднакви по тип и времетраене. Вижда се обаче, че графиките се обобщават около

две стойности на установяване на процеса – $1 \cdot 10^{-3}$ с максимално отклонение 10% и $0,6 \cdot 10^{-3}$ с максимално отклонение 5%. От това може да се заключи, че регулаторът подобрява робастността на системата успешно при по-малък брой параметрични неопределености, като в случая това е при отсъствие на неопределеност в стойността на горната маса m_1 . На фиг. 8 са показани семейството АЧХ и ФЧХ характеристики на затворената система.



Фиг. 8. Амплитудно-честотни и амплитудно-фазови характеристики на затворената система с размит ПИДД² регулатор

Получените АЧХ и ФЧХ на системата са показани при възможно най-лошия случай на неопределеностите на всеки един параметър със син цвят, а с червен цвят на графиката са характеристиките на системата при номинални стойности на параметрите.

От изведените характеристики се вижда, че проектираният размит регулатор осигурява добър коефициент на усилване, но и че внася ненужно фазово изместване, което е логично, съобразно малкото време на преходния процес. В графиката на АЧХ на размития ПИДД² регулатор се вижда относително малкото отместване на резонанса на вибробункера от номиналния модел по честота, и по-големия дисбаланс по амплитуда, което обяснява обединяването на графиките в преходния процес в две групи по амплитуда от фиг. 7. Отклонение от заданието в рамките на 40% обаче не води до робастност на качеството. Съвпадащи с обекта при номинални параметри са групите системи с изменение на коефициентите на демпфериране и коравина на долните пружини. При изменение на съществените за обекта параметри, за системата не може да се каже, че е на лице робастност на качеството.

При проектиране на размит ПИДД² и други размити управляващи устройства е възможно да се проектира регулатор при намалени параметрични неопределености, с цел по-лесно определяне на лингвистичните правила и функции на принадлежност, а след това да се направи анализ за робастност на системата в честотната област, чрез прилагане на инженерна интуиция, формирана при използване на някои от класическите честотни методи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията са представени процесите на синтез и реализацията на симулационен модел на иновативно размито ПИДД² управление на захранването на ВЗУ с две обратни връзки – по ток и по ускорение. Обратната връзка по ток се подава на ПИД частта на регулатора, а ускорението получавано от акселерометъра на Д² частта. Изследвани са основните функционални зависимости за настройката на регулатора, качеството на регулиране и неговата робастност. Анализирани са процесите по избор на лингвистични правила и сложност на функцията на принадлежност и отношението им към повишаване робастността и качеството на системата.

REFERENCE

- [1] Mincho Hadjiiski, Lectures on Intelligent Hybrid Systems for Adaptation, Decision Making and Control, http://www.iit.bas.bg/esf40/phd-lecture-01-10-10/M_Hadjiski/M_Hadjiski_txt.pdf, 2013.
- [2] Jager, R., Fuzzy logic in control, Delft University of Technology, 1995.
- [3] Smets, P., Magrez, P., "Implication in fuzzy logic." International Journal of Approximate Reasoning 1.4 (1987): 327-347.
- [4] Shi, D., Civet, Y., Perriard, Y., Modelling and design of complex geometry parts vibratory conveying. Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2014 17th International Conference on. IEEE, 2014. p. 2170-2175.
- [5] Petrov M., I. Ganchev, A. Taneva., Fuzzy PID Control of Nonlinear Plants. Proceedings of the IEEE International Symposium on "Intelligent Systems", Varna, Bulgaria, 10 - 13 September, 2002, IEEE Catalog Number 02EX499, ISBN 0-7803-7601-3, Vol. 1, pp. 30 - 35.