

ОТКРИВАНЕ НА НЕИПЗРАВНОСТИ В СЕРВОСИСТЕМА С ГЕНЕРИРАНЕ НА АНАЛИТИЧНИ СИМПТОМИ

Гергана Йорданова, Александър Ищев

Резюме: В тази статия е представен метод за генериране на симптоми за целите на откриване на неизправности в сервосистема. Постига се откриване както за входни, така и за изходни неизправности. Първоначалните симптоми се обработват, като се цели намаляване на ефекта на шума в реалните системи. Окончателното откриване на неизправностите се реализира на базата на заключения, получени или чрез поставяне на твърди граници върху симптомите или чрез последяваща обработка с размити функции на принадлежност. За проверка на съответните алгоритми се използва лабораторен стенд - модел на физически обект сервосистема. Резултатите от проведените експерименти са сравнени и анализирани.

Ключови думи: затворен контур, откриване на неизправности, размити функции на принадлежност, сервосистема.

FAULT DETECTION IN SERVOSYSTEM BASED ON AN ANALYTICAL SYMPTOM GENERATION

Gergana Jordanova, Alexandar Ichev

Abstract: In this paper an approach for symptom generation for fault detection in a servosystem is presented. Both sensor and actuator faults are considered. The initial symptoms are modified in order to remove the negative effect of the noise in real systems. The final decision, regarding the fault situation, is performed both by applying strict limits on the symptoms signal as well as with consequential application of fuzzy decision rules on the symptom signal. In order to verify the obtained results, a laboratory setup – model of a servosystem is used. Experiments with servosystem are carried out and results of them are presented and discussed.

Keywords: closed-loop system, fault detection, fuzzy membership functions, servosystem

1. Въведение

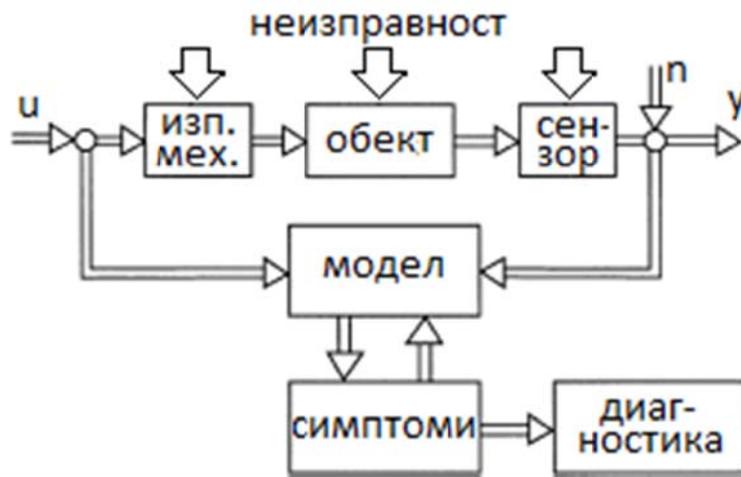
Откриването и диагностиката на неизправности е от изключителна важност за управлението на реални отговорни системи. Това е така, тъй като в тях е възможно да настъпят неизправности, които могат да застрашат обекта, околната среда и човешки животи. Едно от възможните решения е прилагането на методи от теорията на управлението за откриване на момента на настъпване на неизправност в система за автоматично управление. Това се постига чрез използването на така наречени аналитични остатъци. В сравнение с хардуерните остатъци при аналитичните се постига по-ниска цена за реализиране на задачата за откриване на неизправности. През последните няколко десетилетия, интересът към тази област на научното познание се засилва все повече [1, 2]. Ето защо много от усилията на изследователите се насочват именно към нея особено в областта на моделно-базираните методи, в която се забелязва значителни постижения и прогрес. Поради изложеното по-горе, тази статия засяга посочената тематиката. Изследваният обект е от класа на системите, които се използват в почти всички съвременни индустриални системи – сервосистемите [3].

2. Откриване и диагностика на неизправности. Аналитични симптоми

Съгласно дефиницията на техническия комитет на IFAC [4]: „Неизправност е всяко непозволено отклонение на поне едно характерно качество на системата от нейните допустими обикновени (стандартни) условия.”

В тази статия се засяга една от задачите на диагностика на неизправности, а именно - откриване на неизправност, което представлява оказване на момента на възникването ѝ (в кои момент точно се появява дадената неизправност) [1, 5]. За изпълнението на задачата за откриване на неизправности са използват два типа симптоми - „аналитични симптоми” и „евристични симптоми”. Аналитичните познания за обекта се използват за извличане на количествена аналитична информация, а евристичните познания се използват за качествена информация от човешки субекти. В някои случаи специални „характеристики” могат да бъдат извлечени от тези характерни стойности, например физически определени коефициенти на обекта или специални филтрирани или трансформирани симптоми [1]. Тези „характеристики” могат да бъдат сравнени с нормалните характеристики на изправния обект, като произтичащите от това промени (несъответствия) в например сигнали, модели на сигнали или модели на обекти и се считат за аналитични симптоми. Предимството на аналитичните симптоми е, че се използва точна информация, непречупена през призмата на човешкия фактор, което означава по-точна и безпристрастна оценка на ситуацията.

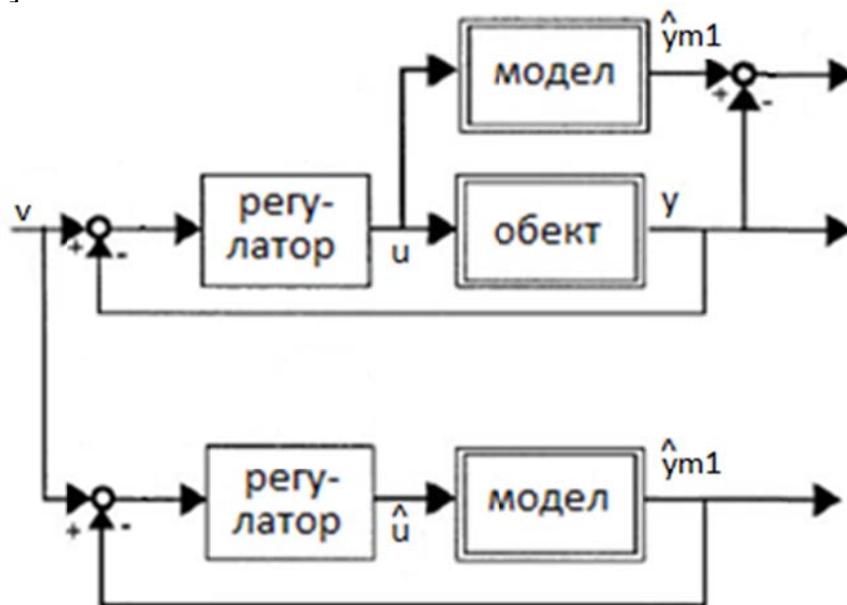
Връзката между неизправностите и съответните им симптоми може да се използва като мощен инструмент за друга задача на диагностиката на неизправности – изолиране на неизправността (за определяне на източника на самите неизправности). Важно е да се отбележи, че в този случай диагностиката оценява симптомите, възникващи в определена неизправна ситуация и определя най-вероятната причина за това (фиг.1) [2]. В рамките на статията тази тематика не е засегната. Трета възможна задача е идентификацията на неизправностите – оценка на големината на настъпилата неизправност.



Фиг.1. Схема за откриване и диагностика на неизправности.

3. Методи за генериране на аналитични симптоми

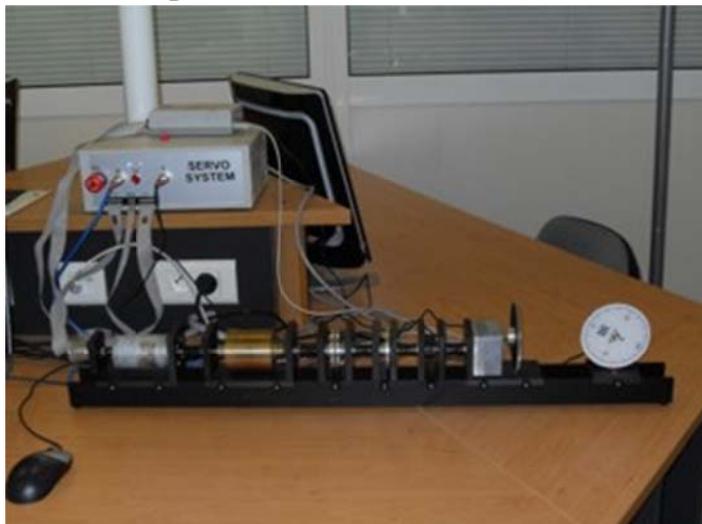
Както вече бе споменато по-горе, аналитичните симптоми могат да бъдат използвани за откриване и диагностика на неизправности. Те представляват индикативни сигнали. В литературата могат да се намерят множество методи за тяхното получаване [1, 3, 4]. В настоящото разглеждане се предлага да се използва схемата показана на фиг.2. В тази схема се разглеждат два затворени контура. При горният контур в допълнение към необходимите модули за осъществяване на управление в затворен контур се добавя модел на обекта. Той е включен паралелно на обекта. С негова помощ е възможно да се проследи дали поведението на обекта наподобява на това на модела, т.е. дали има разлика между очаквано и реално поведение. Вторият контур отново затворен и е поставен паралелно на първият. При него отсъства реалния обект а се използва само модел и регулатор. Този контур получава същото задание (входен сигнал v) както и в първият контур. В тази схема се оценява и управлението подавано към обекта за управление [6].



Фиг.2. Генериране на симптоми чрез използване на модел на обекта

4. Лабораторен стенд „сервосистема”

Експериментите са проведени с лабораторен стенд - сервосистема, произведен от Inteco[®]. Той е показан на фиг.3.



Фиг.3. Лабораторният стенд „сервосистема”

Сервосистемите намират широко приложение в значителна част от модерните системи за автоматично управление. На тяхната безотказна работа се разчита в голяма част от приложенията. Едно типично приложение е модерното в последно време “fly-by-wire” управление на самолети и наземни превозни средства. Разгледаната система е от този клас и е неотменна част от една разпределена система за управление. В конкретната реализация управлението се подава на постояннотоков двигател, който е свързан с тахогенератор. Това е основното измервателно устройство, което се използва за формиране на сигнала в обратната връзка. Двигателя задвижва инерционен модул. На практика във всички реални системи се наблюдава наличие на инертност. Следващият модул е зона на нечувствителност, която имитира наличието на луфтове в реалните системи. Най-голямата нелинейност в системата се дължи на следващият модул - магнитна спирачка. При него се променя коефициента на усилване при различни скорости на въртене и е модел на триене в реалните системи. Последният модул е предавателна кутия, т.к. в реалните реализации управлението не се подава директно на крайният модул. Трябва да се отбележи, че завъртането на вала на двигателят се измерва и с инкрементален енкодер. Постоянно токовият двигател се управлява посредством широчинно-импулсен модулатор (ШИМ). При промяна на коефициента на ШИМ се променя ефективната стойност на подаваното

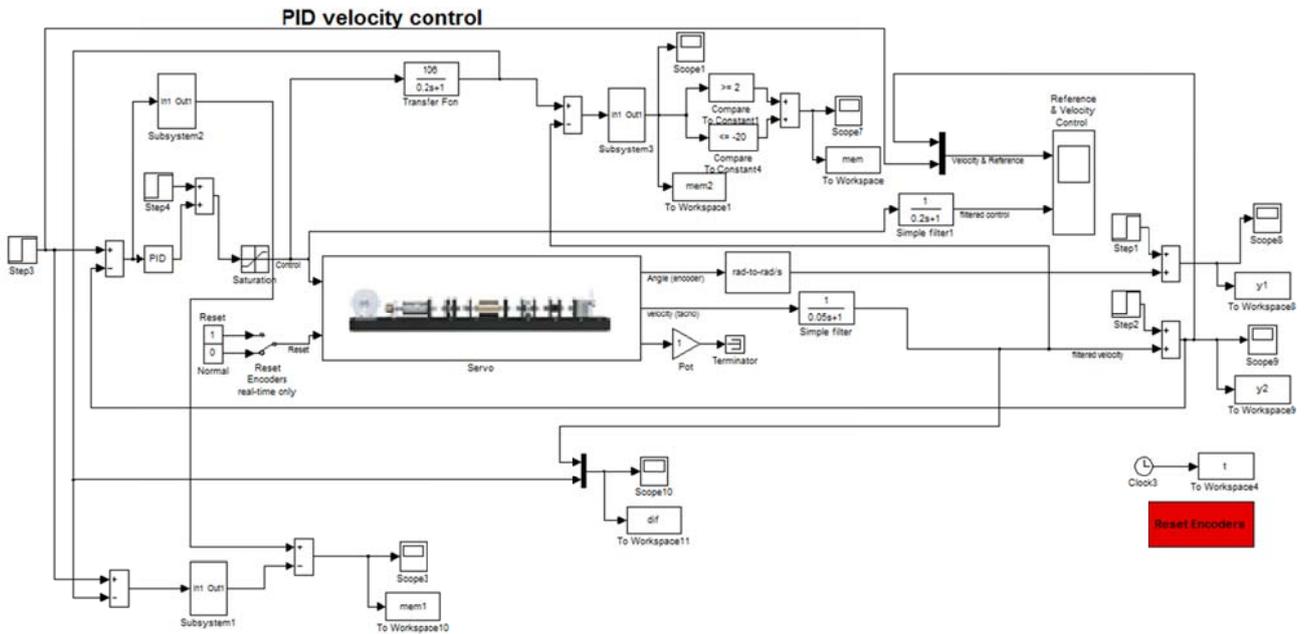
напрежение според формулата $u(t) = \frac{v(t)}{v_{\max}}$. Максималното напрежение е

$v_{\max} = 12V$, а допустимото управление е в диапазона $[-1 \quad 1]$ (знакът на ШИМ определя посоката на въртене). Уместно е да се спомене, че и при двигателят също се наблюдава нелинейност. Най-съществен е ефектът на зона на нечувствителност. Тя се дължи на факта, че двигателят трябва да преодолее сухо триене преди да започне задвижването на вала.

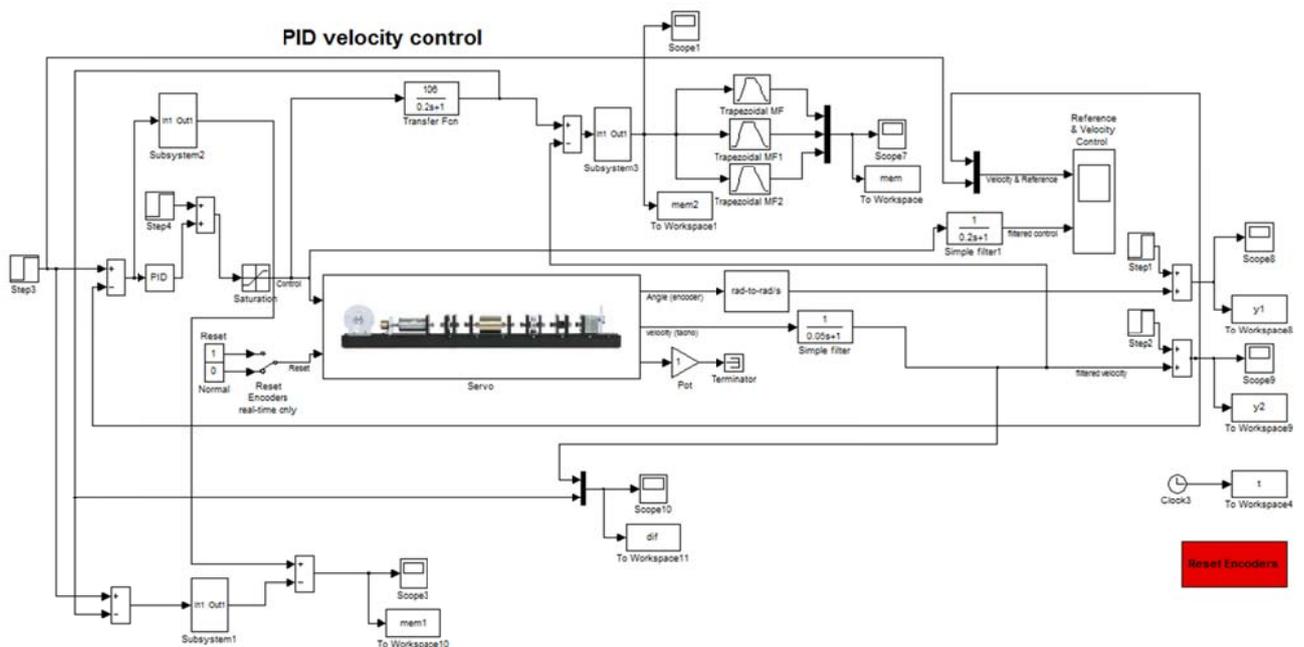
5. Експериментални резултати

Експериментите са проведени в средата на Matlab/Simulink[®] и с използването на Real Time Workshop[®]. Представени са две схеми. На фиг.4.а е схемата с използване на твърди граници при генерирането на симптома. Представената на фиг.4.б. блок-схема използва размити правила при взимането на решение вследствие от стойността на симптома.

а)



б)



Фиг.4. Блок-схема за откриване на неизправности

В средата на фигурите е представен драйверът за свързване към сервосистемата. Той е представен от фирмата производител Inteco[®]. И при двете схеми управля-

вашото устройство е ПИ регулатор. Управляващото устройство е ПИ регулатор (използван е блок ПИД регулатор) с коефициенти $K_P = 0.06$ и $K_I = 0.03$ (коефициентът на Д частта е 0). Регулатора е синтезиран от Inteco® [7] и е доставен заедно с лабораторният стенд. Тук той е използван за демонстрация. Подобни резултати биха се получили и при използването на други регулатори, например синтезиран по квадратичен критерий на качеството. Такова изследване не е представено в рамките на тази статия. Предложеният метод и направените изводи вследствие на проведените експерименти са с общ характер, т.е. са приложими и за други системи с подобна структура.

Времето за протичане на експеримента е 80 [s]. Заданието е под формата на стъпаловиден сигнал със стойност 40 [rad/s]. Неизправността е моделирана като стъпаловиден сигнал със стойност 8 [rad/s]. В първите 40 [s] в системата няма неизправност. Двигателят се развърта и работи в номиналния си режим. В 40 [s] се появява адитивна неизправност, като са изследвани случаите, в които неизправността се появява съответно в изпълнителен механизъм (на входа) или в измервателно устройство (на изхода) на системата.

6. Генериране на остатъци

Използваният в тази статия симптом е един от най-логичните. Това е разликата между модела и обекта на управление (виж. горната част от фиг.2). При него се сравняват изходите на системата и на използваният модел. Идеята му е, че ако в системата няма настъпила неизправност изходите на модела и на системата би следвало да са еднакви, а стойността на тестваният сигнал да е нула (0). Стойност различна от нула би била индикация за настъпването на неизправност в системата. Симптоми с такива свойства се наричат още остатъци. На практика не се получава точно нулева стойност поради наличието на шумове и смущения действащи на реалната система (лабораторният стенд), както и поради наличието на грешки от моделиране. Предимство на този симптом е, че той е много лесен за генериране. Също така може да бъде използван както за затворен, така и за отворен контур на работа на системата. В тази статия се предлага да се използва филтриране на този сигнал. Това се налага поради наличието на големи шумове при данните от лабораторният стенд. В тази статия за филтрирането на сигнала на симптома се използва времеви прозорец с дължина l се използва формула (1) (в конкретната реализация се използва текущата стойност и пет предишни стойности). Биха могли да се използват и други начини за филтриране на сигнали например с експоненциален фактор на забравяне:

$$S_{остатък} = \frac{1}{l} |\hat{y}_{m1}(k-i) - y(k-i)| \quad (1)$$

Както беше споменато, остатъците са чувствителни не само към неизправностите, но също така и към грешки от моделиране, шум и смущения в обекта. Това означава, че дори и при изправна работа на системата остатъците са отлични от нула. Поради тази причина, обикновено остатъците се проверяват спрямо определени граници [1, 3]. Предполага се, че стойностите вътре в границите отговарят на изправна работа, както и че всяко надвишаване от тези граници е предиз-

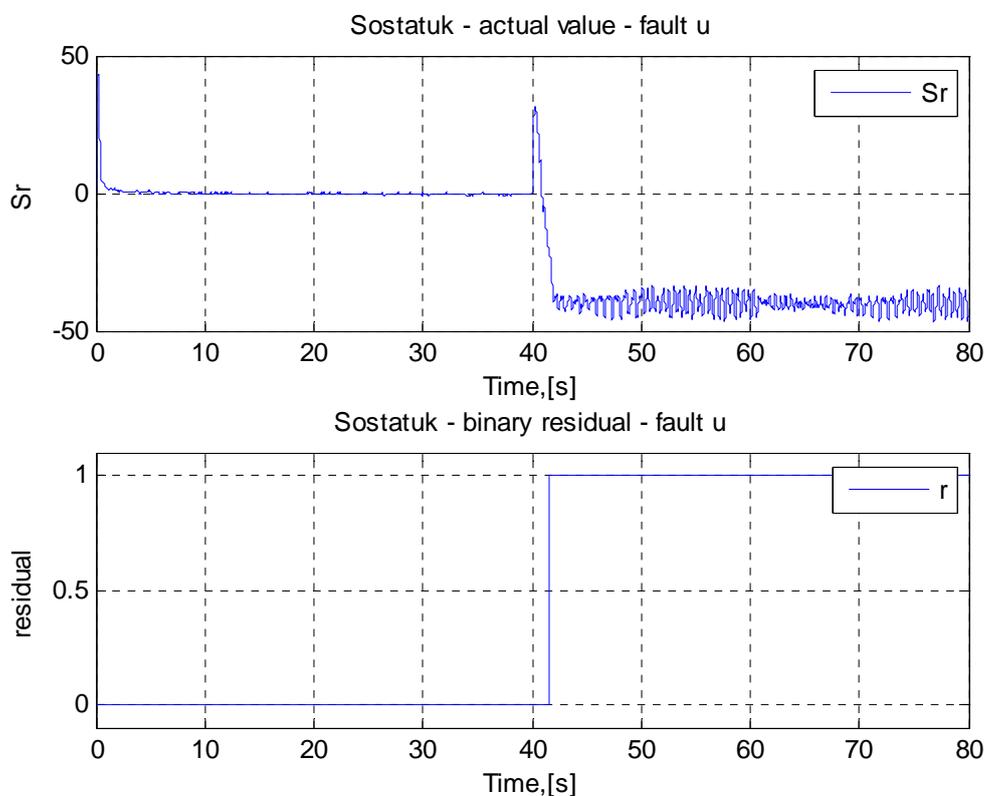
викано от неизправност. Надвишаване на границите ще се нарича активиране на остатъка.

По този начин проверката на границите води до използването на бинарни остатъци.

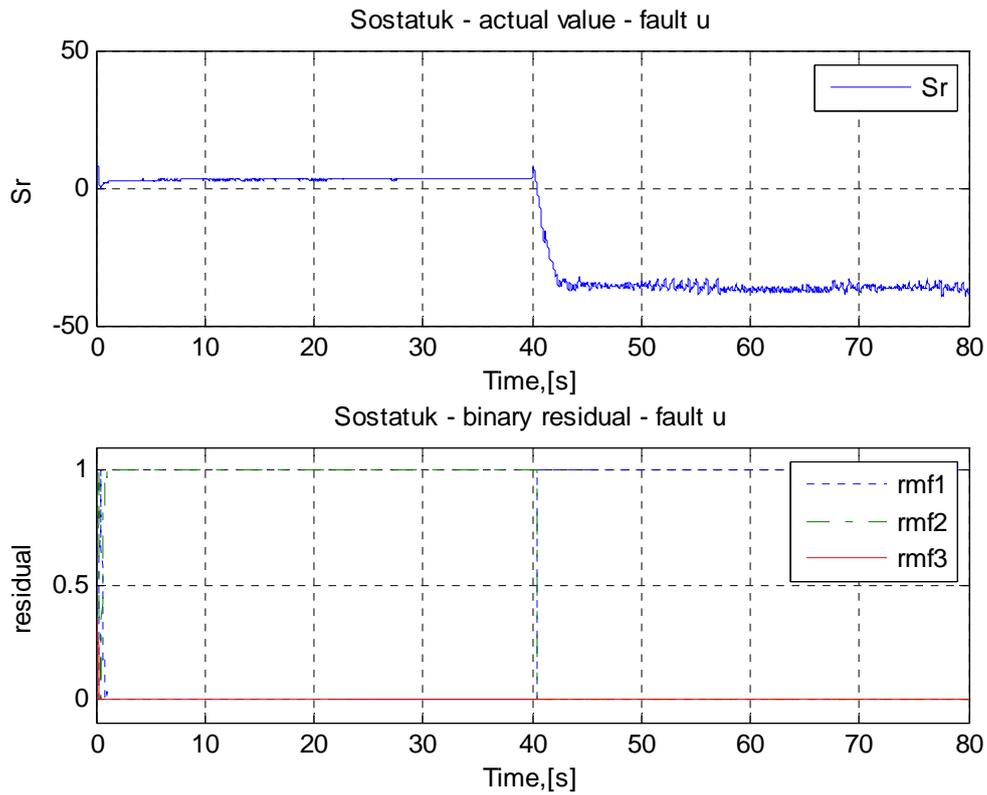
$$r^* = \begin{cases} 0 & \text{ако } |r(t)| \leq r_{th} \\ 1 & \text{ако } |r(t)| > r_{th} \end{cases} \quad (2)$$

където r_{th} дефинира границата. $r^* = 1$ индикира наличие на неизправност. Границите се поставят от проектанта на системата за диагностика на неизправности и представляват компромис между откриването на малки неизправности и нечувствителност към грешки от моделиране и наличие на шум в системата.

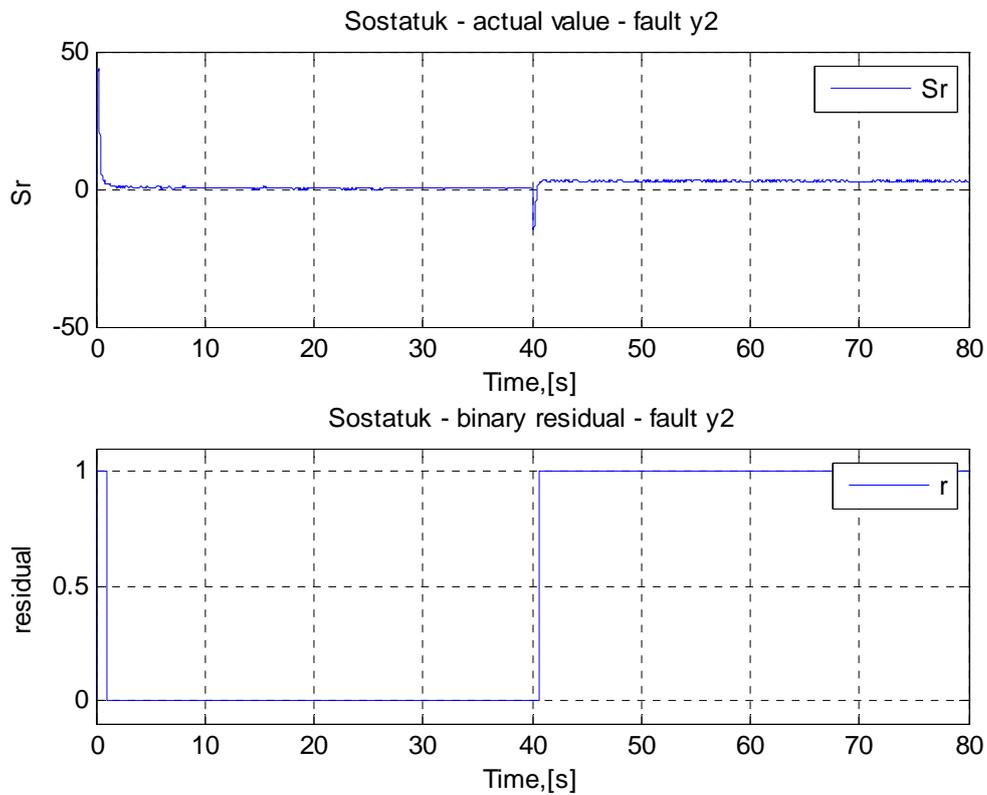
В първият експеримент неизправността е симулирана в изпълнителното устройство (на входа). Резултатите на фиг.5 са получени чрез прилагането на схемата от фиг.4.а, т.е. с твърди граници от вида (2). На фиг.6 са представени резултатите от прилагането на схемата от фиг.4.б, като са използвани размити функции на принадлежност. В горната част на фигурите е представена действителната стойност на $S_{остатък}$, а в долната – формираните остатъци. На фиг.7 и фиг.8 са представени резултатите от подобни експерименти. Разликата спрямо експериментите от предходната фигура се състои в симулираната неизправност. Тук тя е при измервателно устройство (на изхода).



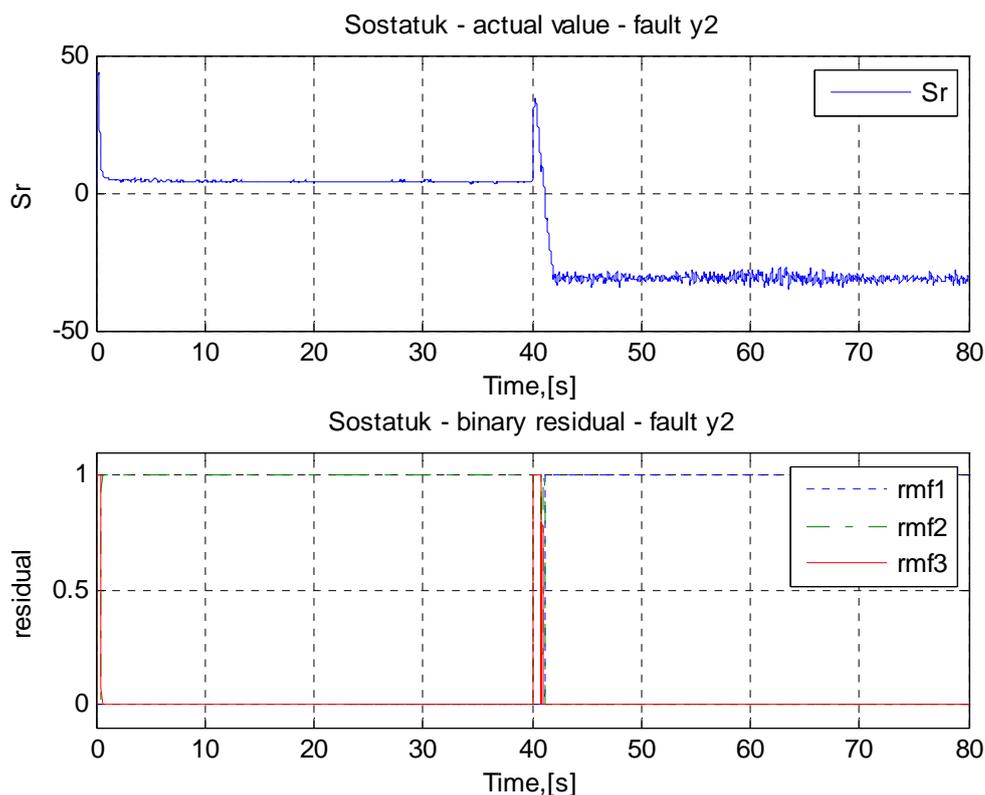
Фиг.5. Стойности на симптома при настъпване на неизправност в изпълнителен механизъм при поставяне на граници



Фиг.6. Стойности на симптома при настъпване на неизправност в изпълнителен механизъм при размити функции на принадлежност



Фиг.7. Стойности на симптома, при настъпване на неизправност в измервателно устройство при поставяне на граници



Фиг.8. Стойности на симптома при настъпване на неизправност в измервателно устройство при размити функции на принадлежност

Може да се види, че в момента на настъпване на неизправността в системата остатъкът се активира, което показва коректната работа на системата за откриване на неизправността. Трябва да се отбележи, че остатъкът в случая с размитите функциите на принадлежност представлява стойност на функция на принадлежност. Те са формирани по такъв начин, че сумата на трите функции на принадлежност е равна на единица. Това се отнася за всяка стойност на входната променлива (в този случай на симптома). Също така трябва да се отбележи, че надвишаването на границите на допустимия диапазон на изменение на измеримата променлива може да се дължи, както на неизправност, така и на промяна в натоварването. Следователно при използването на поставяне на граници за формиране на остатъка е трудно да се установи причината за надхвърлянето на рамките на диапазона. Необходима е допълнителна информация за правилната преценка на резултата от откриването на неизправността. Ето защо са използвани и размити функции на принадлежност, които включват евристични методи за коректно отбиване на точното местоположение и причинените довели до неизправната ситуация.

7. Заключение

В тази статия е представен метод за откриване на неизправности в следяща система. Използван е симптом на барата на модел на обекта. Приложеният симптом е използван за откриването на неизправности както в изпълнителното, така и в измервателното устройство. За окончателното заключение на изправната / неиз-

правната ситуация са използвани са както бинарни прагове, така и размити правила. При праговете се наблюдава недвусмислено решение относно неизправната ситуация, докато използването на размити правила дава допълнително гъвкавост при наличие на шумове, смущения и грешки от моделиране в системата. С помощта на размитите правила може да се даде и по-пълна представа за големината на настъпилата неизправност. Проведени са експерименти с лабораторен стенд – модел на серво система за проверка на получените резултати. Резултатите са коментирани.

БЛАГОДАРНОСТ

Изследванията в тази статия са извършени по проект 122ПД0082-08, финансиран от НИС на ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Isermann R., *Fault-Diagnosis Systems An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance*, Springer, Germany, 2006
- [2] Isermann R., *Fault-Diagnosis Applications Model-Based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors and Fault-tolerant Systems*, Germany, Springer, 2011
- [3] Gertler J., *Fault Detection and Diagnosis in engineering systems*, Marcel Dekker, Inc., USA, 1998
- [4] Patton R., Frank P.M. and Clark Eds R.N., *Issues of diagnosis for Dynamic systems - Diagnosis Systems*, Springer, London, UK, 2000
- [5] Ichtev A., *Parity equations for fault diagnostic of a servo system*. XVIII национален научен симпозиум с международно участие "Метрология и метрологично осигуряване 2009" Созопол, pp. 498 – 504
- [6] Balle P., D. Fussel, *Closed-loop fault diagnosis based on a nonlinear process model and automatic fuzzy rule generation*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 13, Issue 6, pp. 695-704, 2000
- [7] Inteco[®], *Modular Servo System, User Manual*

Автори: Гергана Йорданова, докторант - катедра „Системи и управление”, Факултет Автоматика, Технически Университет - София, E-mail address:

gijordanova@gmail.com;

Александър Ищев – доц. д-р - катедра „Системи и управление”, Факултет Автоматика, Технически Университет - София, E-mail address: ichtev@tu-sofia.bg

Постъпила на 12.05.2013

Рецензент гл. ас. д-р А. Марковски