

ОТКРИВАНЕ НА НЕИЗПРАВНОСТИ В СЕРВОСИСТЕМА С ИЗПОЛЗВАНЕ НА КАЧЕСТВЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ

Гергана Йорданова, Александър Ишев

Резюме: В тази статия е представен метод за генериране на симптоми на базата на качествени показатели. 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 последваща 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 A PERFORMANCE INDEXES

Gergana Jordanova, Alexandar Ichtev

Abstract: In this paper an approach for symptom generation based on performance index 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 на неизправности се превръща в необходимост при изпълнението на отговорни системи [1, 4]. Това е особено приложимо за автоматичните системи за управление. 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 една реална автономна системи е възможно да настъпят неизправности, чиито ефект може да доведе до нежелани последствия за обекта, околната среда и живота на хората. Въпреки това при проектирането на повечето системи за автоматично управление се предполага, че всички компоненти ще останат изправни през целия период на експлоатация. Поради изложените причини е необходимо да се каже, че е необходимо да се положат усилия за откриването на неизправности. Също така е необходимо да се предприемат действия възможно най-бързо след появата на неизправността. В тази статия се разглеждат често срещаните случаи на възникване на неизправности в измервателното и изпълнителното устройства. Разгледаната система (серво системата) също така е една от най-често използваните подсистеми в различни по вид индустриални автоматични системи за управление [3].

Традиционно за откриването на неизправности се използват хардуерни излишъци. Те се характеризират с висока надеждност, но също така това решение е скъпо, т.к. изисква влягането на допълнителен хардуер. В тази статия се обръща внимание на едно алтернативно решение - чрез използването на така наречените аналитични остатъци. При него се използва допълнителна изчислена информация за обекта или системата за управление. Интересно е приложението на методи от теорията на управлението за откриване на момента на настъпване на неизправност в система за автоматично управление, т.е. за откриване на неизправността. 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. Поради изложеното по-горе, тази статия засяга посочената тематиката.

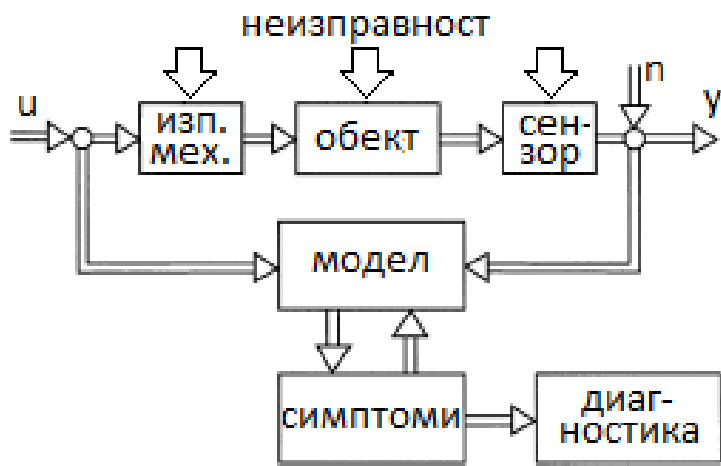
2. Откриване на неизправности

Разглежданата схема за откриване на неизправности се състои от два етапа: (i) предварително се получава моделът на системата и (ii) в реално време се получават и обработват т.н. симптоми. В рамките на тази статия не се дискутира идентификацията на обекта, т.е. предполага се, че структурата и параметрите му са известни предварително. Разискването е съсредоточено само върху втория етап. Трябва да се отбележи, а също така се предполага, че възможните неизправности са предварително известни, т.е. знае се че може да настъпи неизправност в измервателния и изпълнителния механизми. Това, което е неизвестно, е моментът на настъпването на неизправността и нейната големина. По-долу, особено при разглеждането на твърдите граници, се предполага, че неизправността е достатъчно голяма за да може да бъде открита и не се специфицира нейната големина. Следователно задачата за откриване на неизправност се

свежда до определяне на момента на възникването на неизправността [1, 3]. Именно тази задача е основна в тази публикация.

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 затова (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.

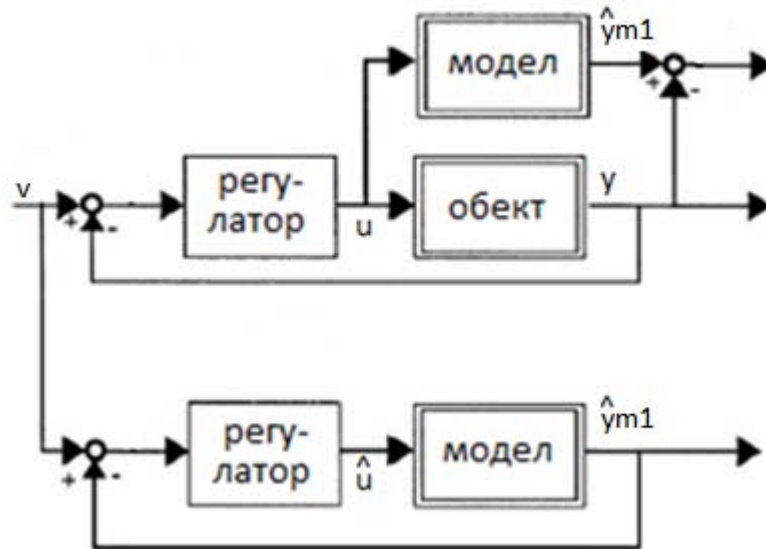


Фиг.1. Схема за откриване и диагностика на неизправности.

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 па-

ралелно 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. Симптоми базирани на показатели на качеството. Грешка в затворен контур.

В тази статия се разглеждат симптоми, получени чрез дефиниране на различни управляващи индекси на качеството. Това се дължи на факта, че качеството на регулатора също характеризира процеса и се променя успоредно с поведението на системата, както в област на постоянна работа, така и по време на промени в заданието. Една от възможностите за генериране на симптоми е да се оцени разликата между заданието v и управлявания сигнал y по формула (1):

$$S_{\text{сигнал}} = \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^l (r(k-i) - y(k-i))^2 - \sum_{i=1}^l (r(k-i) - \hat{y}_{m1}(k-i))^2 \right) \quad (1)$$

При постоянни режими на работа $S_{\text{сигнал}}$ зависи не само от качеството на управлението, но и от външни смущения и шумове. Следователно, за сходни типове симптоми, тези ефекти би трябвало да са аналогични [6]. От фиг.2 може да се види, че това представлява разликата между грешките в двата затворени контура. Идеята е, че ако в системата няма настъпила неизправност, стойността на тествания сигнал следва да бъде 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 моделира-

не. В статията 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. 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 предизвикано от неизправност. Надвишаване на границите ще се нарича активиране на остатъка.

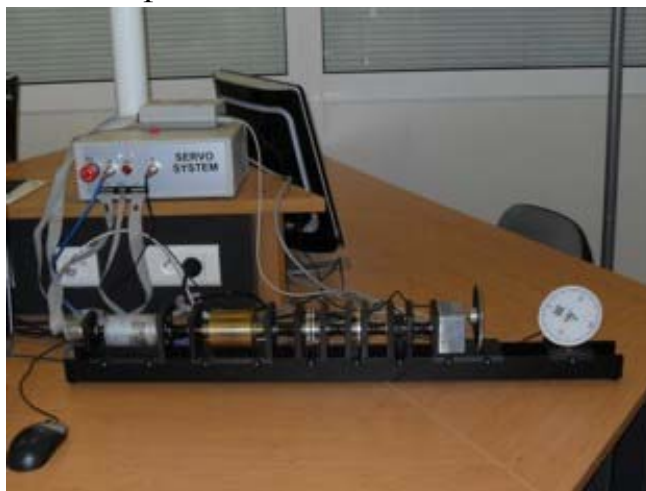
По този начин проверката на границите води до използването на бинарни остатъци.

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

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.

5. 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 енкoder. 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 $[-1 \ 1]$ (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.

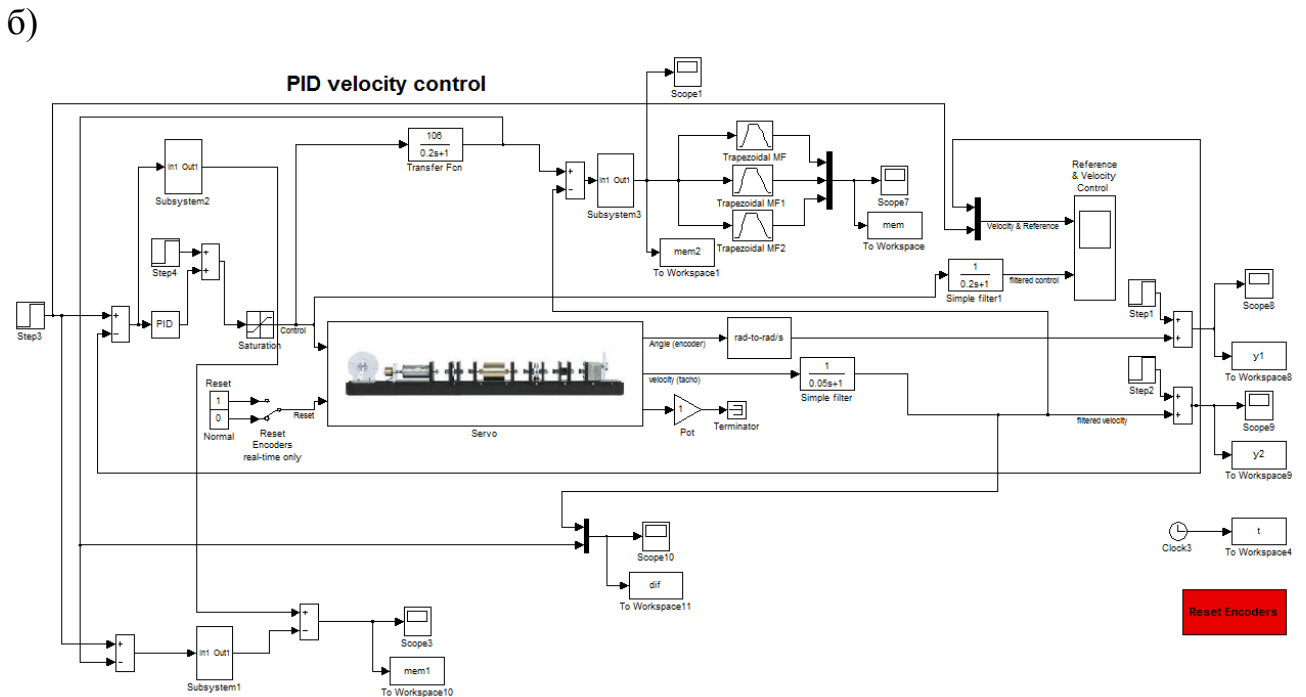
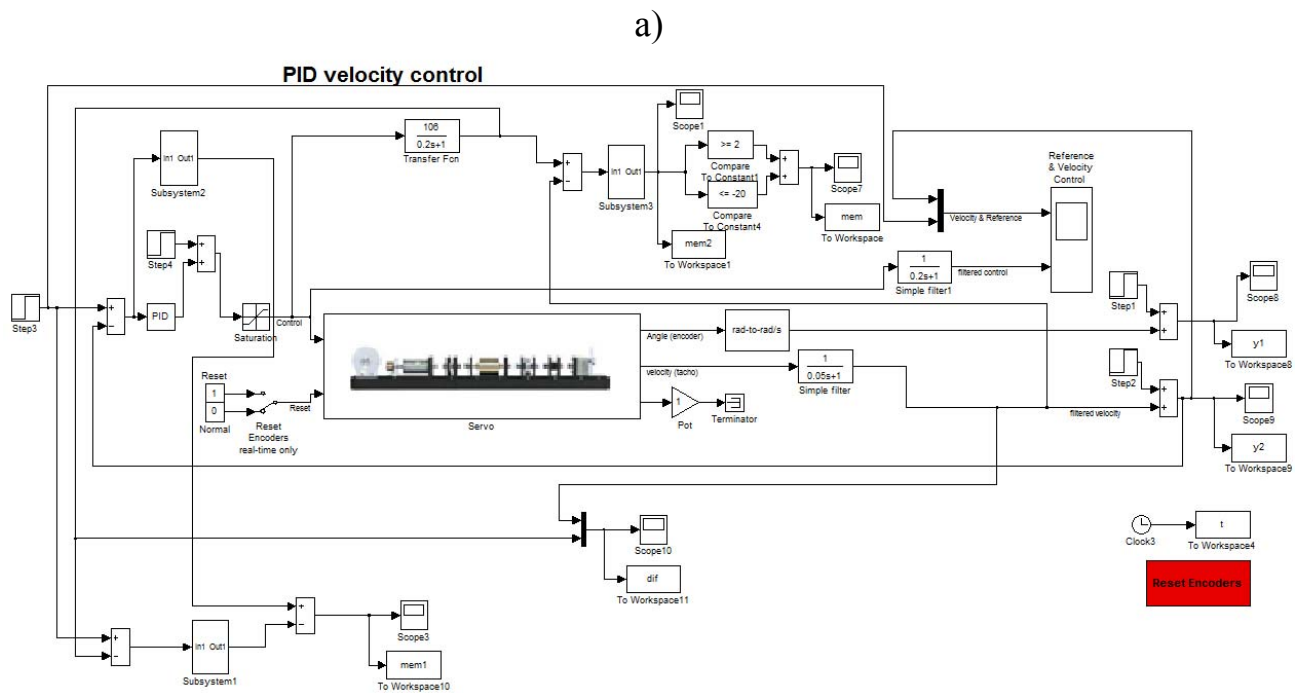
6. Експериментални резултати

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.

В средата на фигурите е представен драйверът за свързване към сервосистемата. Той е представен от фирмата производител Inteco[®]. И при двете схеми управляващото устройство е ПИ регулатор с коефициенти $K_P = 0.06$ и $K_I = 0.03$ (коефициентът на Д частта е 0).

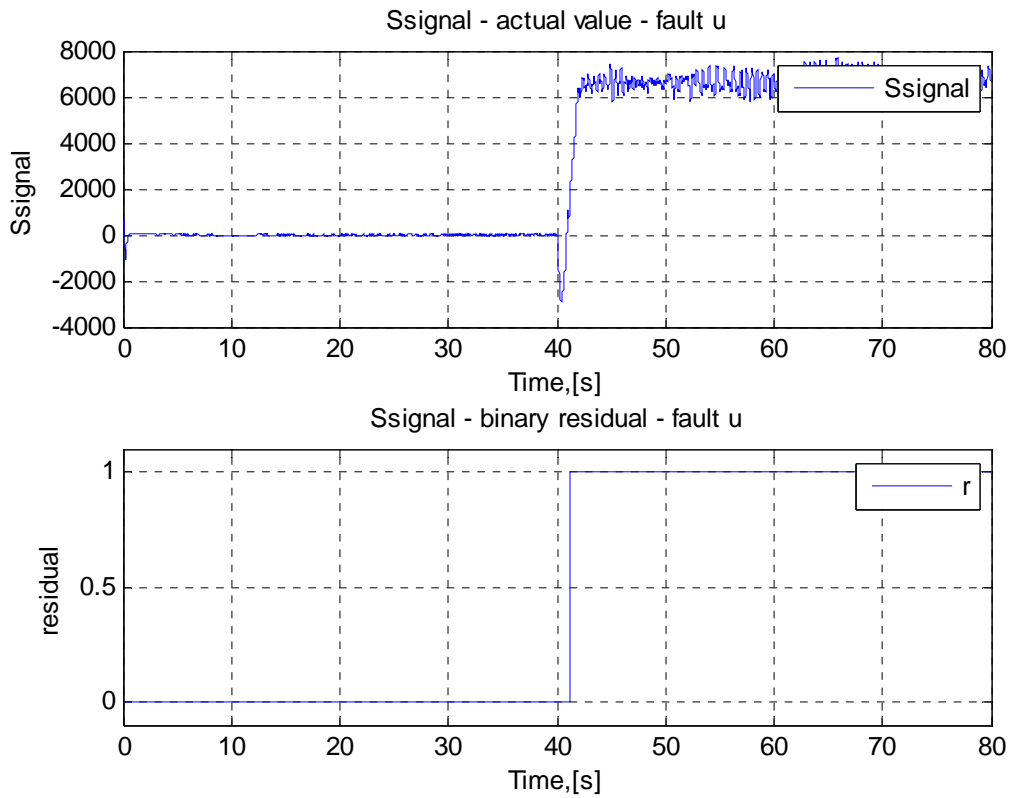
Регулаторът е синтезиран от Inteco[®] [7]. Тук той е използван за демонстрация. Предложеният метод и направените изводи, вследствие на проведените експерименти, са с общ характер, т.е. са приложими и за други системи с подобна структура.

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.

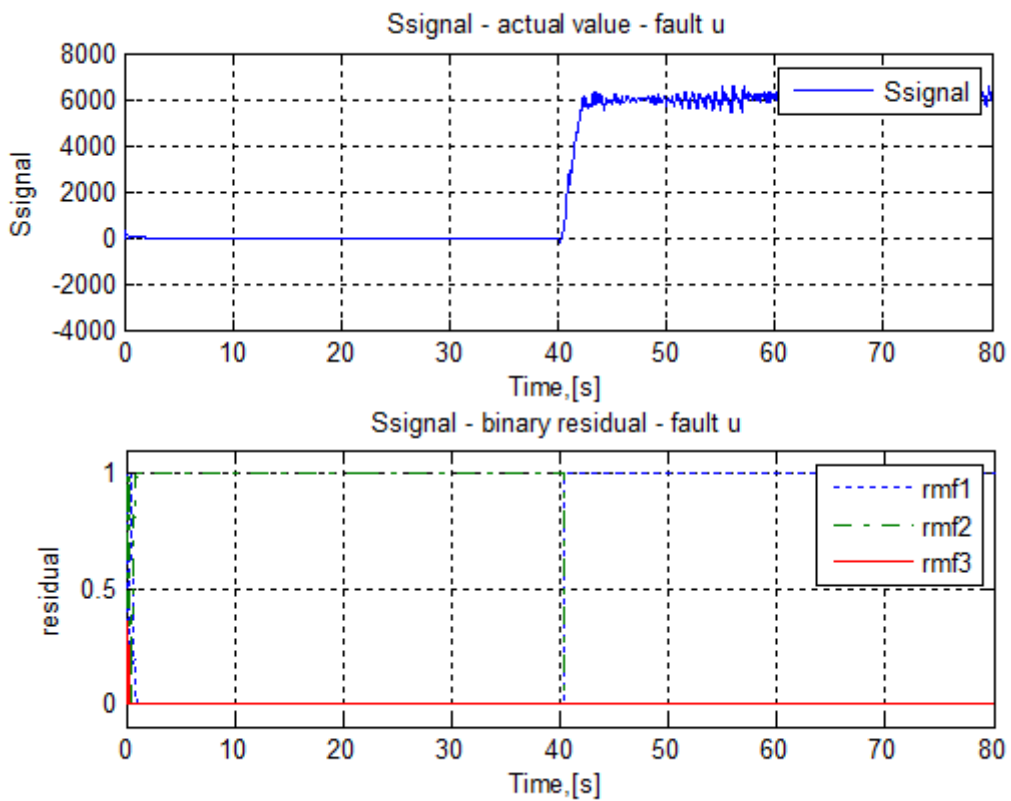


Фиг.4. Блок-схема за откриване на неизправности

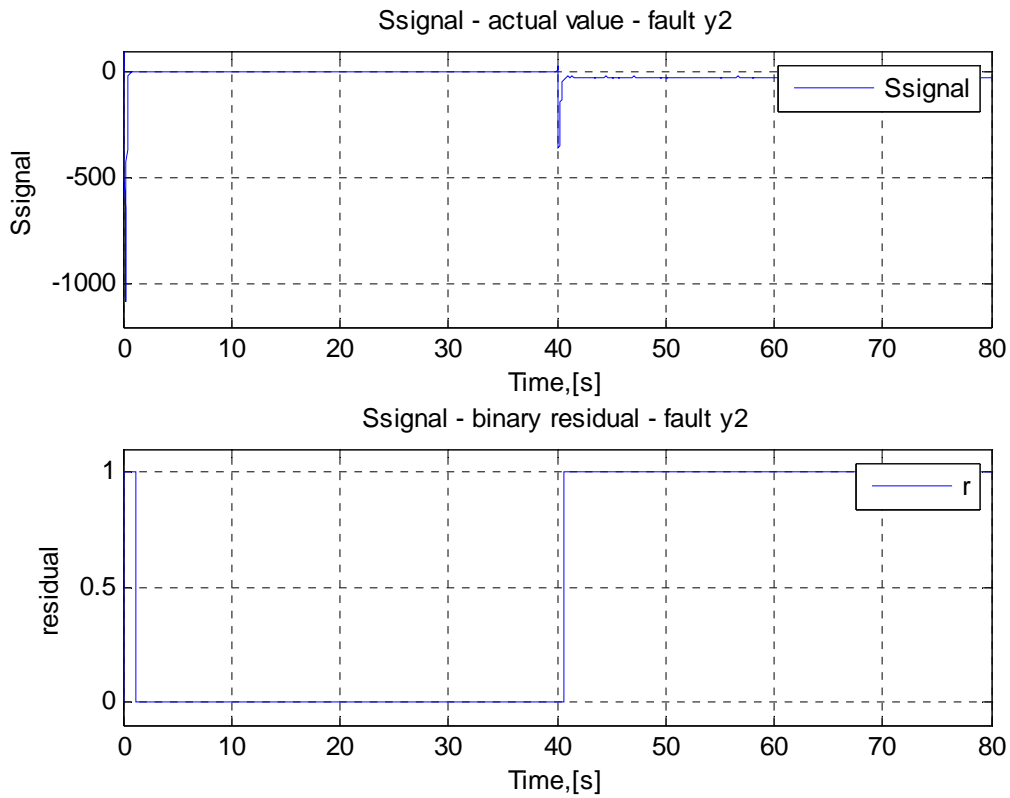
В първия експеримент неизправността е симулирана в изпълнителното устройство (на входа). Резултатите на фиг.5 са получени чрез прилагането на схемата от фиг.4.a, т.е. с твърди граници от вида (2). На фиг.6 са представени резултатите от прилагането на схемата от фиг.4.б, като са използвани размити функции на принадлежност. В горната част на фигурите е представена действителната стойност на $S_{\text{сигнал}}$, 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).



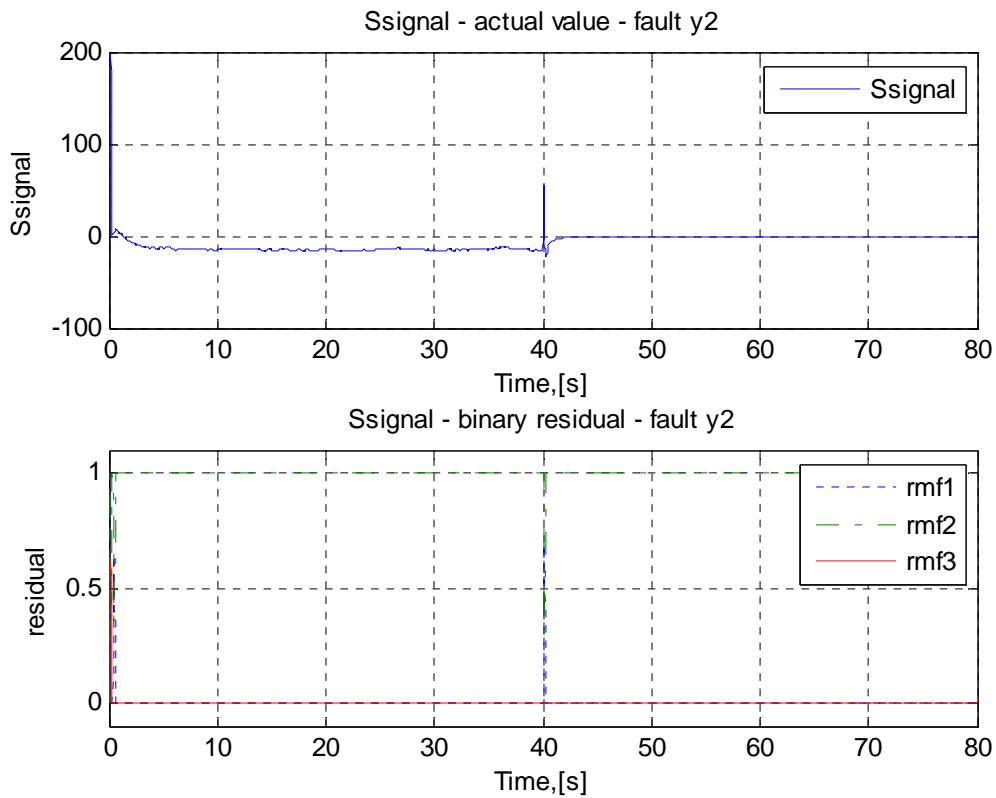
Фиг.5. Стойности на симптома при настъпване на неизправност в изпълнителен механизъм при поставяне на граници



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.

7. Заключение

В тази статия е представен метод за откриване на неизправности в следяща система. Използван е симптом на базата 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 / неизправната ситуация са използвани са както бинарни прагове, така и размити правила. 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 сервосистема 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