

## **АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНА СИСТЕМА С ЕЛАСТИЧНА ВРЪЗКА**

**Васил Димитров, Людмил Попов**

[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg), [lucy6@abv.bg](mailto:lucy6@abv.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев” 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** адаптивно управление, паралелна корекция, колебателно звено

**Резюме:** Товаро-подемните кранове се използват за вдигане и преместване на определено разстояние на свободно окачени товари. Поради незначителното триене във въжетата при колебанията на товара стойността на коефициента на затихване  $\xi$  е незначителна и това обуславя много бавното естествено затихване на колебанията. Този факт силно намалява производителността на тези подемно-транспортни механизми в случаите, когато от тях се изисква точно преместване (напр. при строителни и машиностроителни монтажни кранове).

Адаптивното управление позволява да се синтезират системи за контрол и управление, които могат да променят параметрите на регулатора в зависимост от промяната в параметрите на обекта или външните смущения, действащи върху обекта.

Беше създадена система с паралелна корекция за адаптивно управление (с обратна връзка). Беше направена компютърна симулация на обекта без и с включена система с паралелна корекция за адаптивно управление с помощта на модула Simulink на Matlab. Изследванията са съпоставени с управлението на същия обект с генератор на оптимално входно въздействие. В резултат на симулацията беше получено много по-добро елиминиране на колебанията, в сравнение с управлението с генератор на оптимално входно въздействие. На практика беше получен чисто апериодичен процес.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

В [1] е разработен метод за намаляване на колебанията на звено с еластична връзка (модел на електромеханична система, описващ товаро-подемни кранове). Целта е да се доближи процесът до апериодичен. Методът предполага, че моделът описва напълно прецизно реалното движение на въжето, т.е. че математическият модел на обекта е напълно точен. В практиката, обаче, това е невъзможно. Моделирането е съпроводено с редица неточности, като например:

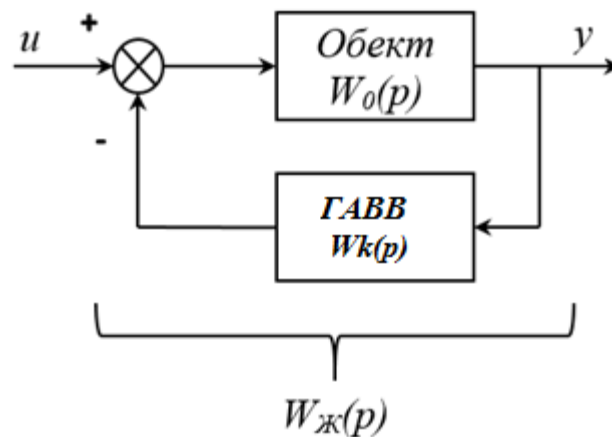
- неточна структура на модела, която не описва точно някои физични особености, като например силите на триенето, еластопластичните и други деформации и т.н.;
- неточни стойности на параметрите на модела (неточности от идентификацията на параметрите);

- неточности (грешки/смущения), произлизащи от постоянни (неслучайни) въздействия на околната среда (напр. гравитация);
- случайни смущения от всякакво естество.

Именно поради тези неточности, в настоящия доклад е предложена идеята за адаптивно управление на процеса на затихване на колебанията на звено с еластична връзка. Същността на адаптивното управление е уточняване на параметрите на управлението на реален обект с цел минимизирането на позиционните (траекторните) грешки [2-4].

## СИНТЕЗ НА РЕГУЛАТОР

Подходът със синтез на генератор на оптимално входно въздействие [1] може да се определи като „последователна корекция”, а в случая на адаптивно управление се реализира система с паралелна корекция. За целта е разработен генератор на адаптивно входно въздействие (*ГАВВ*), който е свързан паралелно на обекта, като осъществява отрицателна обратна връзка (фиг. 1).



Фиг. 1. Обща схема на адаптивното управление

За да може по-добре да се съпоставят двата подхода, генераторът е разработен за обект със същата предавателна функция:

$$(1) \quad W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}.$$

Целта на управлението в случая е еквивалентната предавателна функция на системата да гарантира определено качество :

$$(2) \quad W_{\text{ж}}(p) = \frac{W_0(p)}{1 + W_0(p) \cdot W_k(p)},$$

където  $W_{\text{ж}}(p)$  е желаната предавателна функция на коригираната система.

Следователно:

$$(3) \quad W_0(p) = W_{\text{ж}}(p) + W_{\text{ж}}(p)W_0(p) \cdot W_k(p).$$

След разделяне на двете страни на  $W_{\text{ж}}(p)W_0(p)$  се получава:

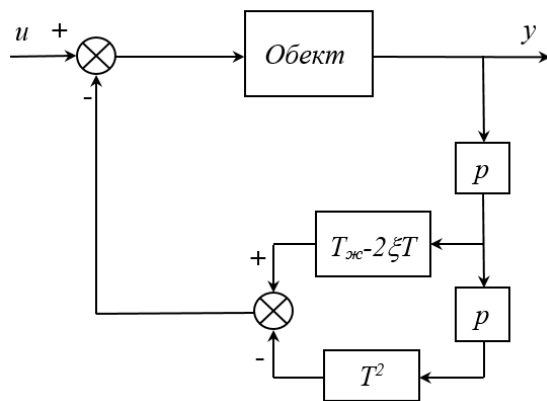
$$(4) \quad W_k(p) = \frac{1}{W_{\text{ж}}(p)} - \frac{1}{W_0(p)} = W_{\text{ж}}^{-1}(p) - W_0^{-1}(p).$$

Като се отчете предавателната функция (1) на обекта и се приеме, че желаната еквивалентна предавателна функция трябва да гарантира апериодичен преходен процес (липса на колебания), т.е.

$$(5) \quad W_{\text{ж}}(p) = \frac{k_{\text{ж}}}{T_{\text{ж}} p + 1},$$

и се получава: (6)  $W_k(p) = -T^2 p^2 + (T_{\text{ж}} - 2\xi T)p$

От получения израз се реализира структурата на ГАВВ, с която се извършва периодична идентификация и корекция на параметрите на обекта (фиг. 2).



Фиг. 2. Синтезирана схема на регулатора и обекта с адаптивно управление

От казаното до тук следва, че ако предварително зададените стойности  $k_{жс}$  и  $T_{жс}$  са известни, параметрите на обекта  $k$ ,  $T$  и  $\xi$  трябва да се идентифицират в началото на всяко хоризонтално преместване на товара на крана. За целта удобен е *методът за оперативна идентификация на динамични обекти с дробно-рационална предавателна функция* [5].

В случая системата уравнения ще има следния вид :

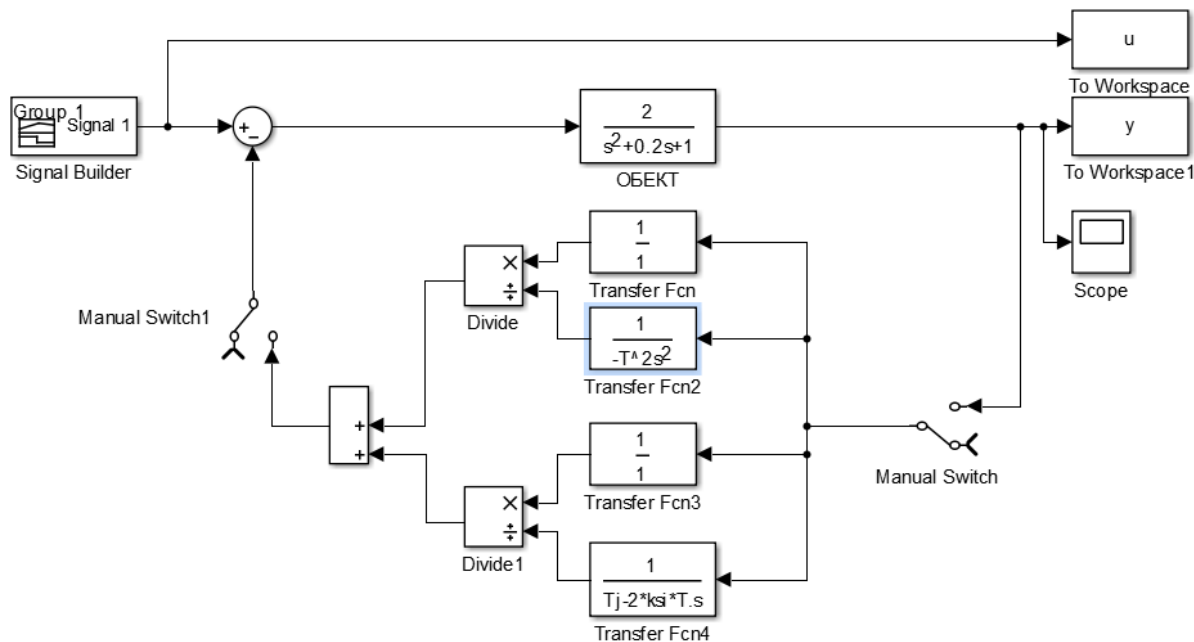
$$(7) \quad T^2 \ddot{y}_i + 2\xi T \dot{y}_i - k u_i = -y_i ; \quad i = 1, 2, 3 .$$

където  $u_i$  е текуща стойност на входното въздействие;

$y_i$  – текуща стойност на изходната величина.

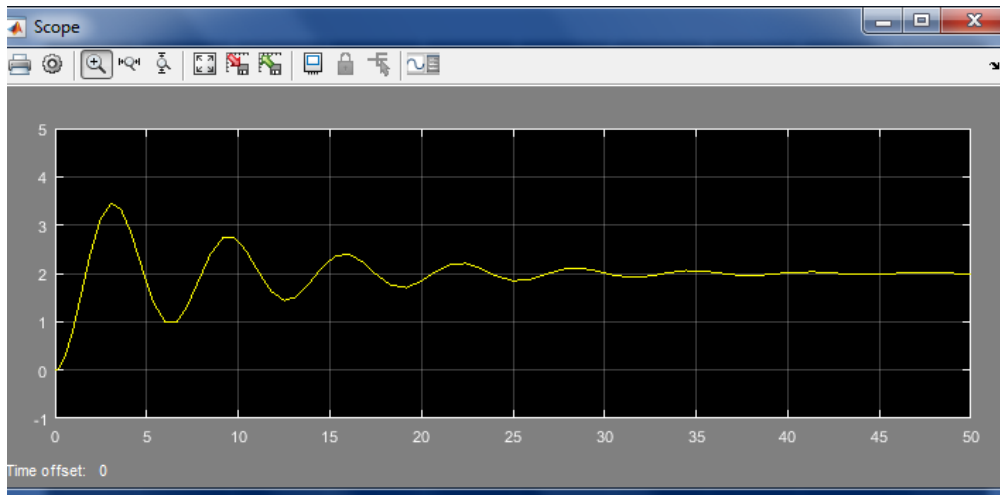
### СИМУЛАЦИЯ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Синтезираната система за адаптивно управление беше компютърно симулирана. Първоначално симулацията беше стартирана със същите параметри на обекта, както и в [1], а именно: времеконстанта  $T = 1$  s, коефициент на затихване  $\xi = 0,1$  и предавателен коефициент  $k = 2$ . На фиг. 3 е представена симулационната схема в среда на Simulink R2015a на MATLAB 8.5.



Фиг. 3. Схема на симулация на обекта без и с ГАРВВ

На фиг. 4 са показани преходните характеристики на обекта без корекция.



Фиг. 4. Преходна характеристика на обекта без регулатор

По време на проведената симулация се записват стойностите на входната величина  $u$  и изходната величина  $y$  със стъпка на дискретизация  $\Delta t=0.022$  sec. След което по метода за оперативна идентификация на динамични обекти с дробно-рационална предавателна функция [5] се изчисляват параметрите на звеното при всяко отклонение( фиг.5).

```

Editor - C:\Users\470xx\Documents\MATLAB\koleb_3_8.m
koleb_3_8.m
1 - p(i)=(y(i+2)-y(i))./0.044;
2 - p(i+1)=(y(i+3)-y(i+1))./0.044;
3 - p(i+2)=(y(i+4)-y(i+2))./0.044;
4 - p(i+3)=(y(i+5)-y(i+3))./0.044;
5 - p(i+4)=(y(i+6)-y(i+4))./0.044;
6 - p2(i)=(p(i+2)-p(i))./0.044;
7 - p2(i+1)=(p(i+3)-p(i+1))./0.044;
8 - p2(i+2)=(p(i+4)-p(i+2))./0.044;
9 - a=[p2(i) 2.*p(i) -u(i); p2(i+1) 2.*p(i+1) -u(i+1); p2(i+2) 2.*p(i+2) -u(i+2)];
10 - b=[-y(i) -y(i+1) -y(i+2)];
11 - x=a/b;
12 - T=sqrt(x(I))
13 - ksi=x(i+1)./T
14 - k=x(i+2)

```

Фиг. 5. Определяне на  $\kappa$ ,  $T$  и  $\xi$

Стойностите на  $\kappa$ ,  $T$  и  $\xi$  след първите измервания са:(фиг.6)

```

Command Window
>> koleb_3_8

T =

    2.3808

ksi =

    0.4237

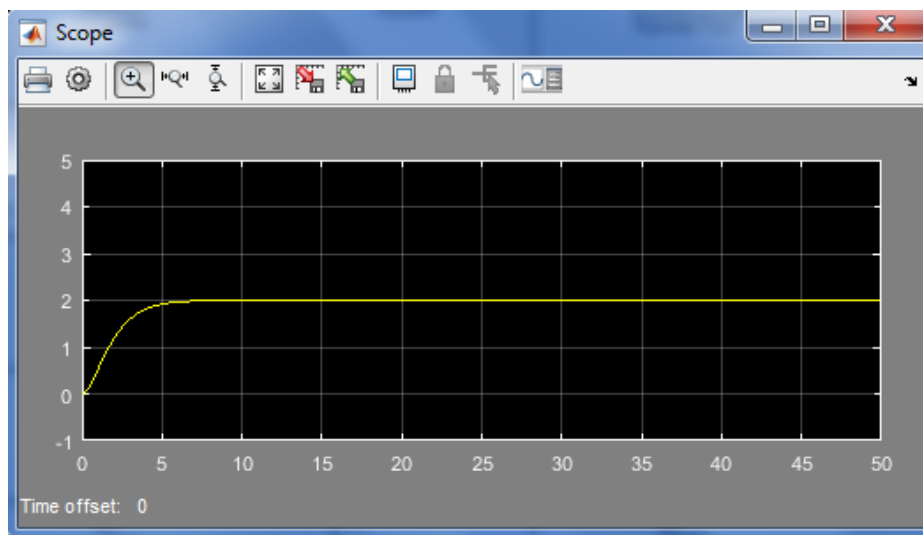
k =

    1.6456

```

Фиг. 6. Изчислени стойности на  $\kappa$ ,  $T$  и  $\xi$

На фиг. 7 са показани преходните характеристики на обекта с включена корекция. Вижда се много по-доброто елиминирание на колебанията в сравнение със схемата с последователна корекция (с генератор на оптимално входно въздействие, описан в [1]), като е получен чисто аperiодичен процес.



Фиг. 7. Преходна характеристика на обекта с адаптивно регулиране

## ИЗВОДИ

В доклада е представена методика за синтез на регулатор с цел адаптивно управление на електромеханична система с еластична връзка – реализация на противоположеща защита при кранове. Проведена е симулация на изследваната система без и с регулатор. Наблюдава се пълно елиминирание на колебанията, причинени от еластичната връзка в обекта. Наблюдава се аperiодичен процес, като по този начин е верифицирана предложената методика.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Попов Л., Синтез на регулатор за оптимално управление на електромеханична система с еластична връзка, V Научна конференция с международно участие „КЕИТ – 2020“, Банско, 23-25.09.2020 г.
- [2] Ключев В., Теория на електродвижването, Техника, София, 1989
- [3] Ищев К., Теория на автоматичното управление, ТУ-София, 2007
- [4] Костов И., Г. Иванов, Управление на електродвижванията, УЧИ, Пловдив, 2014
- [5] Димитров В., Л. Попов, Метод за оперативна идентификация на динамични обекти с дробно-рационална предавателна функция, Int. Sc. Conf. “Unitech 2019”, Proceedings, ISSN 1313-230X, pp. I-25 – I-29

# ADAPTIVE CONTROL OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ELASTIC LINK

Vasil Dimitrov, Ludmil Popov

*Todor Kableskov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Keywords:** *adaptive control, correction in parallel, oscillating unit*

**Abstract:** *Load-lifting cranes are used to lift and move freely suspended loads. Due to the insignificant friction in the ropes during the load oscillations, the value of the damping coefficient  $\xi$  is insignificant and this determines the very slow natural damping of the oscillations. Thus, the productivity of these lifting gear in cases where precise relocation is required (eg. for construction and machine assembly cranes) is reduced.*

*Adaptive control allows the synthesis of control systems that can change the parameters of the regulator depending on the change in the parameters of the object or on external disturbances acting on the object. A system for adaptive control with parallel correction (feedback) was created. A computer simulation of the object was performed without and with a parallel correction system for adaptive control using the Matlab Simulink module. The studies are compared with the control of the same object by a generator of optimal input impact.*

*As a result of the simulation, much better oscillation elimination was obtained compared to the control by a generator of optimal input impact. Practically, a purely aperiodic process was obtained.*