

## СИНТЕЗ НА РЕГУЛАТОР ЗА ОПТИМАЛНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНА СИСТЕМА С ЕЛАСТИЧНА ВРЪЗКА

*Людмил Попов*  
lucy6@abv.bg

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

*Ключови думи: оптимално управление, последователна корекция, колебателно звено*

*Резюме: Подемно-транспортните машини и механизми с циклично действие, към които спадат товаро-подемните кранове, се използват за вдигане и преместване на свободно окачени товари на определено разстояние. Наличието на еластичност във въжетата, на които виси товарът на един кран, представлява гъвкав елемент в кинематиката на механизма и обуславя включването на колебателно звено в математическото описание на обекта. 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. По тази причина темата „противолюлееща защита при кранове” е обект на много изследвания.*

*Беше разработен генератор на оптимално входно въздействие, който трябва да гарантира апериодичен преходен процес (липса на колебания). Ако предварително желаните стойности  $k_{ж}$  и  $T_{ж}$  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.*

*Беше направена компютърна симулация на обекта без и с включен генератор на оптимално входно въздействие с помощта на модула Simulink на Matlab. Постигната беше задоволителна точност на идентификационните процедури.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Товаро-подемните кранове се използват за вдигане и преместване на свободно окачени товари на определено разстояние. Наличието на еластичност във въжетата, на които виси товарът на един кран, представлява гъвкав елемент в кинематиката на механизма. Математическото описание на обекта, което включва колебателно звено, представлява диференциално уравнение от втори ред [1-4]:

$$(1) \quad T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t),$$

където  $x(t)$  и  $y(t)$  са входната и изходната величини.

Предавателната функция на колебателното звено е:

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

където  $k$  е предавателен коефициент,

$T$  – период на колебанията (времеконстанта на звеното),

$\xi$  – коефициент на затихване.

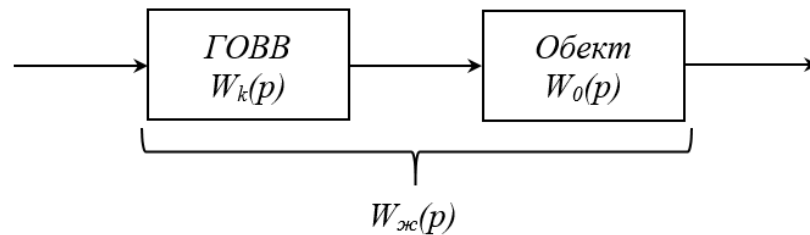
При  $\xi < 0.707$  преходният процес придобива колебателен характер.

Поради незначителното триене във въжетата при колебанията на товара, стойността на  $\xi$  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 или машиностроителни монтажни кранове). По тази причина темата „противолюлееща защита при кранове” е обект на много изследвания.

## СИНТЕЗ НА РЕГУЛАТОР

Съществуват много практически решения и изобретения, които в една или друга степен са посветени на решаването на поставения проблем. В основната си част, обаче, това са следящи системи, чиято задача е да отработват грешката от колебанията на товара, което е свързано с необходимостта от сравнително сложна система за контрол на люлеенето.

Беше разработен генератор на оптимално входно въздействие (ГОВВ), който е свързан последователно на обекта (фиг. 1).



Фиг. 1. Обща схема на регулатора и обекта

На фигурата с  $ГОВВ$  е означен генераторът на оптимално входно въздействие, а с  $O$  – обектът. Доколкото в случая те са свързани последователно, общата им предавателна функция ще бъде :

$$(3) \quad W_{жс}(p) = W_k(p) \cdot W_o(p)$$

където  $W_o(p)$  е предавателната функция на обекта,

$W_k(p)$  – предавателната функция на ГОВВ,

$W_{жс}(p)$  – общата предавателна функция на така коригираната система.

От (3) следва :

$$(4) \quad W_k(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_o(p)},$$

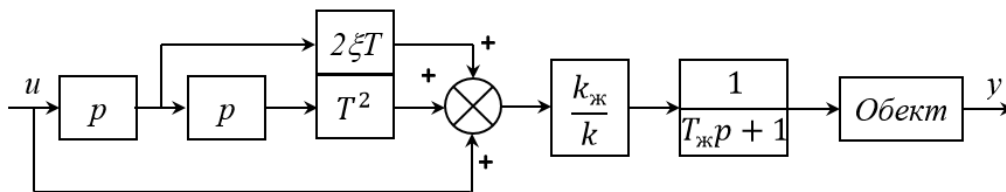
Като се отчете израз (2) и се приеме, че оптималното входно въздействие трябва да гарантира аperiодичен преходен процес (липса на колебания), т.е.

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

за предавателната функция на  $ГОВВ$  се получава:

$$(6) \quad W_k(p) = \frac{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}{T_{жс} p + 1} \cdot \frac{k_{жс}}{k}.$$

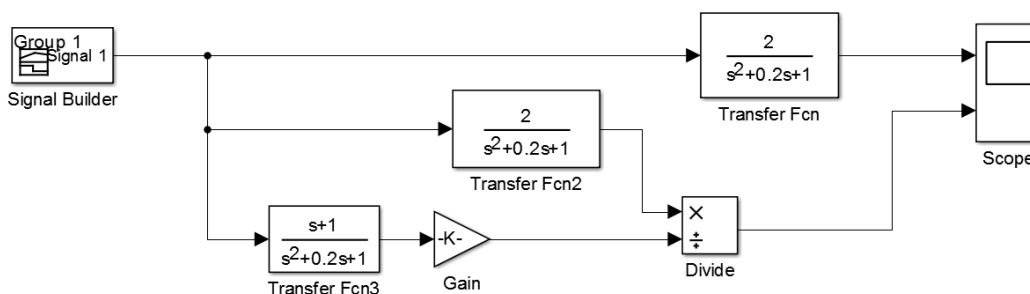
Отгук еднозначно произлиза структурата за реализация на  $ГОВВ$  по израз (6), показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Синтезирана схема на регулатора и обекта

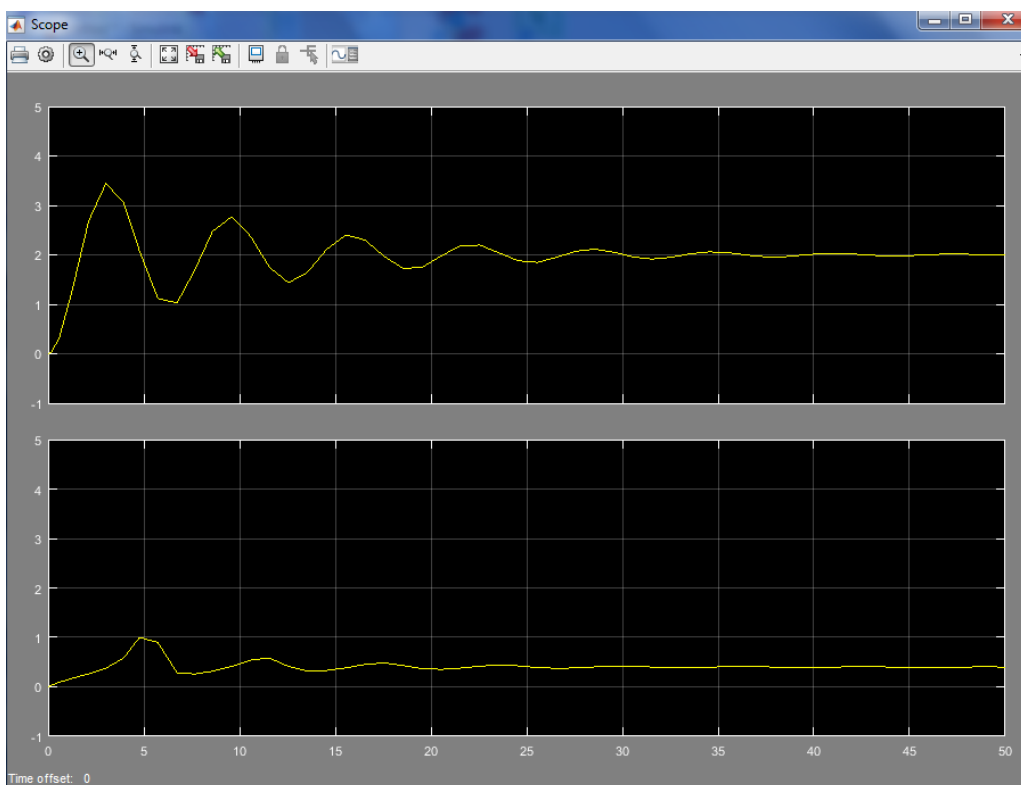
### СИМУЛАЦИЯ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Беше направена компютърна симулация на синтезираната система ”ГОВВ – обект на управление“. В предавателната функция на обекта бяха приети следните параметри: времеконстанта  $T = 1$  s, коефициент на затихване  $\xi = 0,1$  и предавателен коефициент  $k = 2$ . На фиг. 3 е представена симулационната схема, разработена в среда на Simulink R2015a на MATLAB 8.5.



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

На фиг. 4 са показани преходните характеристики на обекта без и с регулатор. Постигнато е значителното редуциране на колебанията.



Фиг. 4 Преходна характеристика на обекта без и с регулатор

## ИЗВОДИ

В доклада е представена методика за синтез на регулатор с цел оптимално управление на електромеханична система с еластична връзка – реализация на противолюлееща защита при кранове. Проведена е симулация на изследваната система без и с регулатор. Наблюдава се значително намаляване на колебанията, причинени от еластичната връзка в обекта, което верифицира предложената методика.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Ключев В., Теория на електрозадвижването, Техника, София, 1989
- [2] Петров И., В. Димитров, Системи за автоматично управление – ръководство за упражнения, ВТУ „Тодор Каблешков”, София, 2012
- [3] Ищев К., Теория на автоматичното управление, ТУ-София, 2007
- [4] Костов И., Г. Иванов, Управление на електрозадвижванията, УЧИ, Пловдив, 2014

## SYNTHESIS OF A REGULATOR FOR OPTIMAL CONTROL OF AN ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ELASTIC LINK

Ludmil Popov

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

**Keywords:** *optimal control, correction in series, oscillating unit*

**Abstract:** *Lifting machines and mechanisms with cyclic action, which include cranes, are used to lift and move freely suspended loads over a certain distance. The presence of elasticity in the ropes on which the load of a crane hangs, represents a flexible element in the kinematics of the mechanism and determines the mathematical description of the object, including the oscillating unit. 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. That is the rationale behind the topic of "anti-vulnerability protection for cranes" being the subject of much research.*

*An optimal input impact generator has been developed, which should ensure an aperiodic transient process (no fluctuations). If the previously desired values  $k_j$  and  $T_j$  are known, the parameters of the object  $k$ ,  $T$  and  $\xi$  must be identified at the beginning of each horizontal movement of the crane load. Therefore, the method for operative identification of dynamic objects with fractional-rational transfer function is convenient in this case.*

*A computer simulation of the object was performed with and without the optimal input impact generator turned on using the Matlab Simulink module. Satisfactory accuracy of identification procedures was achieved.*