

Семинарно упражнение 3

АНАЛОГОВИ ПИД РЕГУЛАТОРИ СЪС СТАНДАРТНО ОПТИМАЛНО НАСТРОЙВАНЕ

1. ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Да се усвои методика за оптимално настройване на ПИД регулатори в средата на MATLAB/SIMULINK. Да се експериментират различни схеми за реализиране на стандартни оптимизационни процедури.

2. МЕТОДИЧНИ УКАЗАНИЯ

Оптимално настроенният ПИД регулатор трябва да удовлетворява определени изисквания за функциониране на САУ, в която той се поставя. Обикновено това означава, че:

(а). Проектираният регулатор минимизира предварително дефиниран показател (критерий) за качеството на САУ, който най-често представлява величина с интегрален характер, интерпретирана като средна мощност в рамките на интервала на наблюдение T на сигналите в САУ.

(б). Този показател обхваща различни математически описания, но всички те зависят поне от един фактор, наричан основна грешка $e(t)$ в критерия, като съществуват различни начини за нейното формулиране.

2.1. Избор на стандартни показатели за качество на управлението на регулатор в САУ

Най-често използваните **стандартни показатели** се дават с изразите:

$$(a). \text{ Показател на абсолютната грешка } IAE = \int_0^T |e(t)| dt .$$

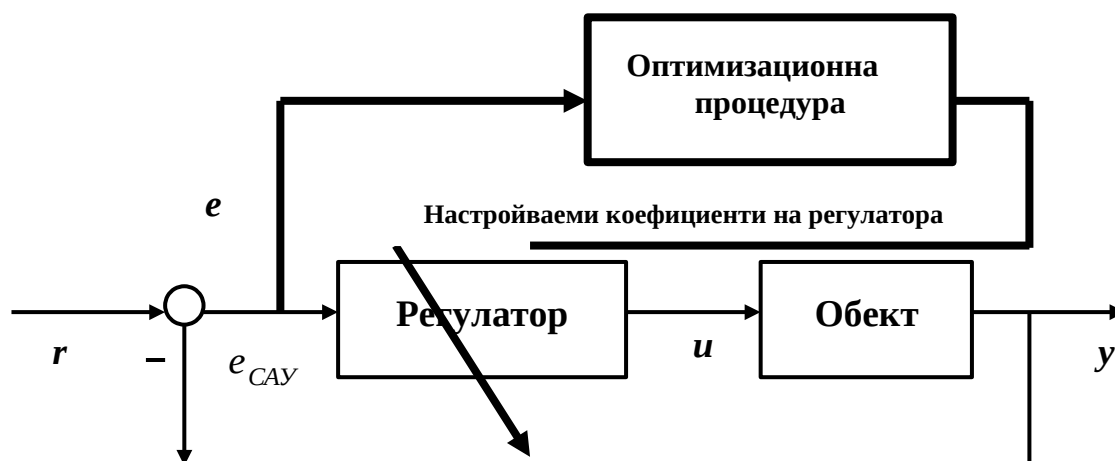
$$(б). \text{ Показател на квадратичната грешка } ISE = \int_0^T e^2(t) dt .$$

2.2. Избор на схема за формиране на грешката в показателя

- **Грешката в показателя като грешка в управлението на САУ**

В тази схема (фиг. 1) се сравнява оптимизируемата посредством ПИД регулатора регулируема величина $y(t)$ (изходът на обекта) с желан процес на поведение на затворената САУ, напр., заданието $r(t)$. Грешката $e(t)$ в описаните по-горе показатели на качеството на оптимизацията съвпада с грешката в управлението на САУ $e_{САУ}(t)$:

$$e(t) = r(t) - y(t) = e_{CAУ}(t) .$$

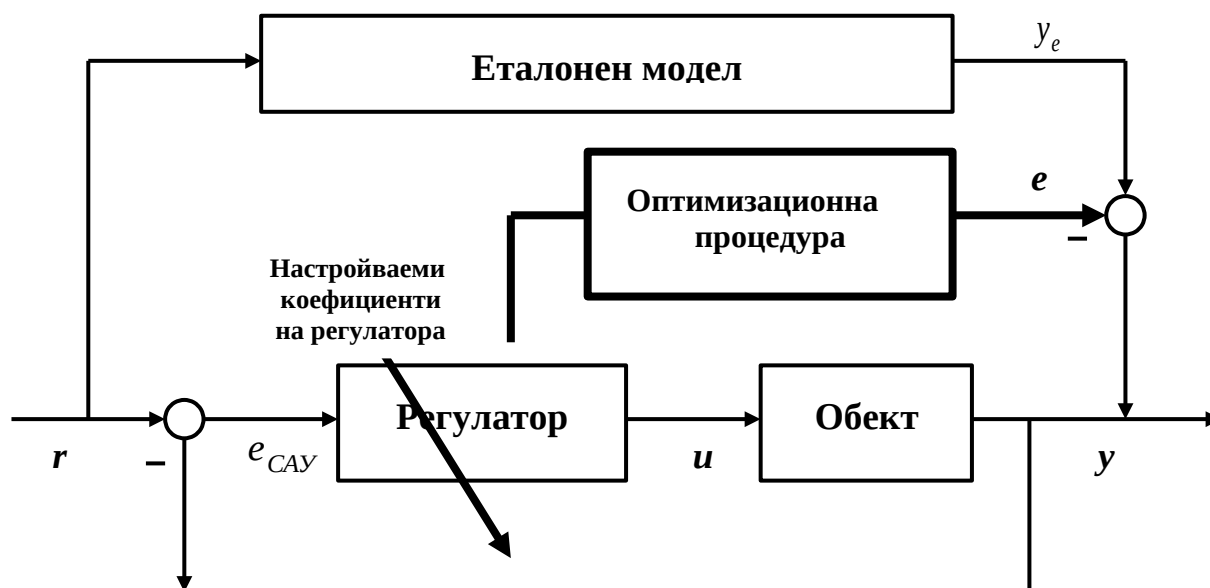


Фигура 1. Оптимално настройване по грешката в управлението

- **Грешката в показателя като грешка между действителната и еталонна САУ**

В тази схема (фиг. 2) се сравнява оптимизируемата посредством ПИД регулятора регулируема величина $y(t)$ (изходът на обекта) с желан процес на поведение на затворената САУ при определен задаващ сигнал $r(t)$ (напр., преходен процес $h_e(t)$ от еталонен модел на САУ при $r(t)=1$). Грешката в описаните показатели на качеството на оптимизацията се определя с израз:

$$e(t) = y_e(t) - y(t).$$



Фигура 2. Оптимално настройване по грешка с еталонен модел

2.3. Начални данни за провеждане на изследванията

Използва се същият обект на управление и реализираните вече блок-диаграми на стандартен аналогов ПИД регулатор от ЛУ 1.

2.4. Особенности на изпълнението на задачите

Препоръчва се:

- (а). За начални стойности на коефициентите в оптимизируемия ПИД регулатор да се избират настройките от конкретни методики от ЛУ 1.
- (б). Да се демонстрира ефектът от оптималното настройване, като се съпоставят сигналите в САУ за стойности на коефициентите на ПИД регулатора в началото и края на оптимизационната процедура.
- (в). Оптималните настройки се определят при едновременното или самостоятелното действие в САУ на промяна в заданието и поява на товарно смущение.

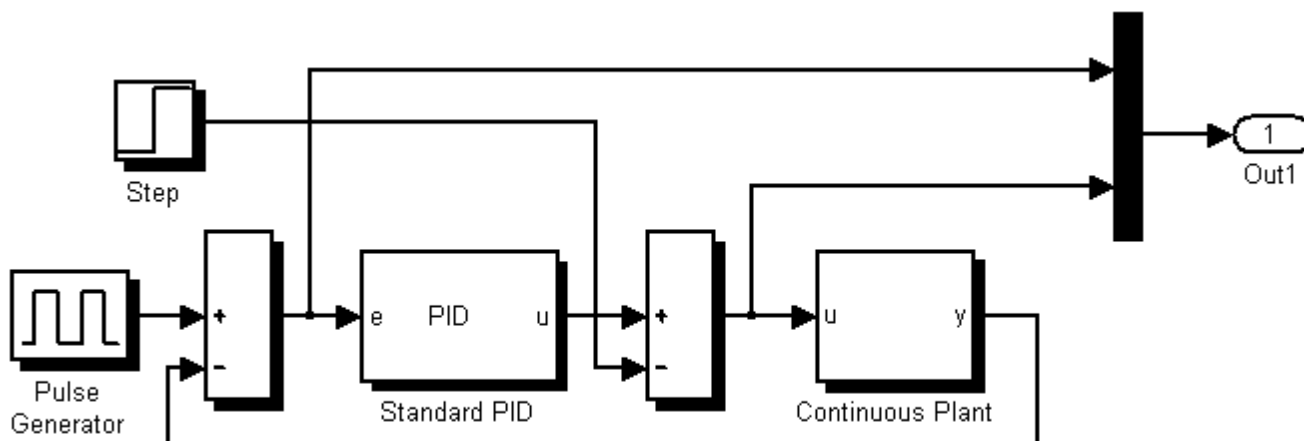
3. ЗАДАЧИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ

3.1. Да се реализира по схемата на САУ от фиг. 1 оптимално настройване на аналогов ПИД регулатор без ограничения върху управлението.

Ето една последователност от действия за решаване на задачата:

Стъпка 1. Избира се реализиран вече в SIMULINK блок на аналогов регулатор с настройваеми коефициенти K_p, T_i, T_d .

Стъпка 2. Изгражда се блок-диаграма на САУ от фиг. 3 и се съхранява като файл под името `s_cls_1`. Чрез нея се определя като изходна величина сигналът на грешката в САУ от фиг. 1. Вместо *Pulse Generator* може да се използва генератор на стъпално въздействие *Step*. Наличието на изходен порт в нея е условие за формиране на данни в служебния масив `y` – в първата колона – грешката в САУ, а във втората – управляващия сигнал.



Фигура 3. Схема `s_cls_1`

Стъпка 3. За определяне на сигнала на грешката в САУ се дефинира собствена функция от MATLAB **cls_er_1**, чрез която се описва симулирането на САУ от схемата **s_cls_1** чрез функцията **sim** и се изчислява разсъгласуването $e(k) = r(k) - y(k)$. Примерен вид на функцията е даден в табл. 1. Процедурата на симулиране се извършва с променлива стъпка поради ускореното изпълнение на функцията **sim**. Изходен аргумент на **cls_er_1** е скаларна квадратична форма на вектора на грешката. За удобство при извършване на операциите със сигналите те се формират равномерно разположени във времето, т.е. с постоянна стъпка, след интерполация с **interp1**.

Таблица 1. Функция на грешката в показателя

```
% Формиране на грешката в показателя за оптимизиране
function f=cls_er_1 (pid);
    % Оптимизируемите параметри се дефинират като глобални.
    global k ti td T S
    % pid - вектор с оптимизируемите параметри k, ti и td,
    % f - сигнал на грешката в целия интервал на наблюдение T
    % при такт на измерване S.
    k=pid(1); ti=pid(2); td=pid(3);
    % Симулиране на затворената система с име s_cls_1 чрез
    % функцията sim в интервала от 0 до T сек.
    [t,x,y]=sim ('s_cls_1', T);
    % Линейно интерполиране на траекторията на регулируемата
    % величина през интервал от S (конкретно число) сек. чрез
    % равномерно разположени N (N=1+T/S) точки, което създава
    % удобство при графично оформяне на резултата от
    % функциониране на оптималната система за управление
    e=interp1 (t, y(:,1), 0:S:T);
    % Формиране на грешката.
    f=e*(e');
    % Край на функцията.
```

Стъпка 4. Формира се главната програма на задачата. Използва се стандартната функция **fminsearch** от библиотеката Optimization Toolbox за оптимално настройване на регулатора, така че квадратичният критерий от грешката на

$$J = \sum_{k=0}^N e^2(k)$$

управлението да бъде минимален, т.е. регулируемата величина $y(.)$ да следва заданието $r(.)$ в съответствие с критерия *ISE*. Програмният модул за реализиране на оптимизацията е от вида, показан в табл. 2, който се съхранява като файл с името **cls_mo_1**. Допълнително се формулират изисквания към параметрите на оптимизационната процедура с **optimset**. Опцията ['display', 'iter'] извежда на всяка стъпка от оптимизационната процедура текущата

стойност на използвания показател. Намаляващата стойност е индикация за извършване на оптимизация.

Таблица 2. Главна програма за оптимално настройване

```
% Начало на програма cls_mo_1  
% Дефинират се настройваемите параметри като глобални.  
global k ti td T S  
% Начални стойности на настройваемите параметри  
pid=[k0, ti0, td0];  
T=T0; S=S0;  
options = optimset ('Diagnostics', 'on', 'display', 'iter');  
% Изчисляват се оптимните параметри на ПИД регулатора.  
pid = fminsearch ('cls_er_1', pid, options);  
% Край на програмата.
```

Стъпка 5. Провежда се оптимизационната процедура.

Въвеждат се началните условия за функциониране на оптимизационната процедура – k_0 за коефициента на пропорционалност **K_p** на настройваемия ПИД, ti_0 и td_0 за времеконстантите, съответно, на интегриране **T_i** и диференциране **T_d** . Уточнява се интервалът на наблюдение на процесите в САУ **T** и стъпката **S** за преизчисляване на равномерно разположените в него стойности. Възможен вариант за избор на начални условия, представляват изчислените вече настройки на непрекъснатия ПИД според конкретно избрани методи от лабораторно упражнение 1, напр. по първия метод на Ziegler-Nichols.

Стартира се файлът **cls_mo_1**. В процеса на оптимизация се извеждат междинни резултати, докато оптимизацията завърши успешно, независимо че в някои случаи може да има предупреждения за лоша обусловеност на задачата.

Преходните процеси на САУ с начално и крайно (оптимално) настройки ПИД-регулатор се документират съвместно.

3.2. Да се реализира по схемата на САУ от фиг. 2 оптимално настройване на аналогов ПИД регулатор.

Тук се следва последователността от подзадачи, описани в т. 3.1. Естествено програмните модули трябва да претърпят съответстваща промяна, а съответните им имена са **s_cls_2**, **cls_er_2**, **cls_mo_2**.

3.3. Да се сравнят резултатите от функционирането на различните типа САУ с оптимален аналогов ПИД регулатор

Изследват се САУ с настроени при различни условия ПИД регулатори: чрез различни схеми на формиране на грешката и чрез различни критерии. Резултатите се анализират след графично съпоставяне на построените преходни процеси на САУ при различни по настройки ПИД регулатори.