

## Семинарно упражнение 1

# СХЕМИ НА КЛАСИЧЕСКИ АНАЛОГОВИ ПИД РЕГУЛАТОРИ

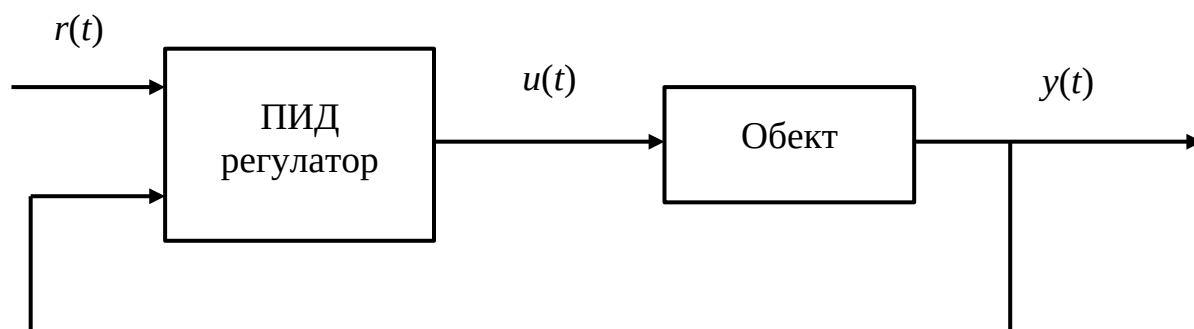
### 1. ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Да се формират различни схеми на аналогови ПИД регулатори и се създадат собствени блокове в средата на SIMULINK. Да се изследва поведението на сигналите в конкретни САУ с различните реализации на регулаторите, като се анализира влиянието на отделни параметри в тях.

### 2. МЕТОДИЧНИ УКАЗАНИЯ

#### 2.1. Избор на схемни решения за реализиране на ПИД регулатори

ПИД регулаторите са елементи в една САУ (фиг. 1) за реализиране на управляващо въздействие  $u(t)$  върху обекта на управление с цел регулируемата величина  $y(t)$  да отработва по желан начин заданието  $r(t)$ . Основна характеристика на този тип устройства е, че те имат постоянна структура, която предварително се избира от проектанта сред известни схемни решения, независимо от вида на обекта на управление. Поведението на сигналите в САУ се определя от формата на синтезирания регулатор и стойностите на настройваемите му параметри.



Фигура 1. Принципна схема на САУ с ПИД регулатор

В лабораторното упражнение е поставен акцент върху следните класически или модифицирани структурни схеми на аналогови ПИД регулатори, които представят преобразуването на сигналите на САУ в Лапласовата равнина:

- **Класически аналогов ПИД с паралелна структура**

Неговият операторен вид с паралелно разположените три компоненти, т. нар. Пропорционална, Интегрираща и Диференцираща съставка на регулатора) се представя с уравнение (1)

$$u(s) = \left[ K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \right] e(s), \quad (1)$$

където  $e(s) = r(s) - y(s)$  формира грешката в САУ като разлика между заданието и регулируемата величина, а параметрите на регулатора са съответно: коефициент на пропорционалност  $K_p$  и две времеконстанти - на интегриране  $T_i$  и на диференциране  $T_d$ .

- **Класически аналогов ПИД с последователна структура**

Неговият операторен вид представя последователно съединение на елементи с трите компоненти на регулатора и се дава с уравнение (2)

$$u(s) = K_p^* \left( 1 + \frac{1}{T_i^* s} \right) (1 + T_d^* s) e(s) = K_p^* \left( \frac{1 + T_i^* s}{T_i^* s} \right) (1 + T_d^* s) e(s), \quad (2)$$

Едно предимство на регулатора (2) са реалните му нули, равни на реципрочните стойности на  $T_i^i$  и  $T_d^i$ . Недостатък е, че не може да се осигури чисто пропорционално или само интегрално въздействие чрез задаване на крайни стойности на параметрите му. Освен това, за разлика от взаимно независимият характер между И- и Д-съставката в (1), при последователно реализирания ПИД (2) диференциращата времеконстанта  $T_d^i$  влияе върху И-съставката на регулатора.

Лесно може да се установи еднозначна връзка между коефициентите на двата типа регулатори, като след съпоставяне на описанията (1) и (2) се извеждат правите и обратни зависимости, съответно, (3) и (4) [1,5]:

$$K_p = K_p^i \frac{T_i^i + T_d^i}{T_i^i}, \quad T_i = T_i^i + T_d^i, \quad T_d = \frac{T_i^i T_d^i}{T_i^i + T_d^i}, \quad (3)$$

$$K_p^i = \frac{K_p}{2} (1 + \sqrt{1 - 4 T_d / T_i}), \quad T_i^i = \frac{T_i}{2} (1 + \sqrt{1 - 4 T_d / T_i}),$$

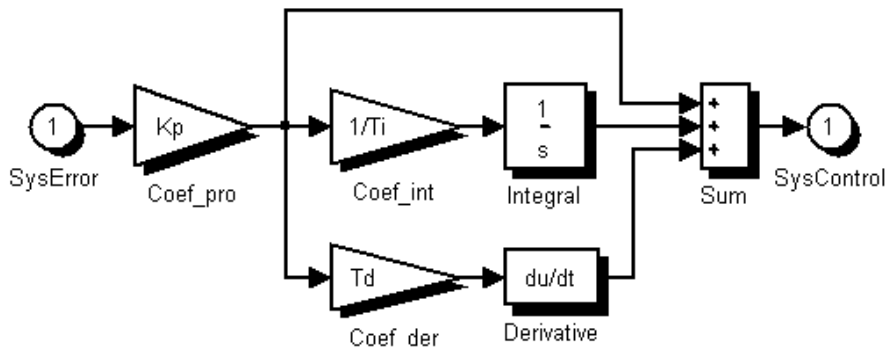
$$T_d^i = \frac{T_i}{2} (1 - \sqrt{1 - 4 T_d / T_i}).$$

$$(\text{при } T_i \geq 4 T_d) \quad (4)$$

## 2.2. SIMULINK реализация на собствен блок на класически ПИД (1)

Класическият ПИД регулатор може да се представи чрез схемата на фиг. 2, Една от задачите на упражнението е да се изпробва самостоятелното създаване на собствен блок в библиотеката на SIMULINK. За целта по-долу е изложена

процедура, чрез която една примерна схема (тази от фиг. 2) е преобразувана във функционален блок със собствен диалог за въвеждане на началните стойности на параметрите в него.



**Фигура 2.** Собствена схема на стандартен ПИД регулатор

Първо, чрез **Edit/Select all** се подготвя схемата от фиг. 2 за последващо създаване на подсистема с **Edit/Create subsystem**.

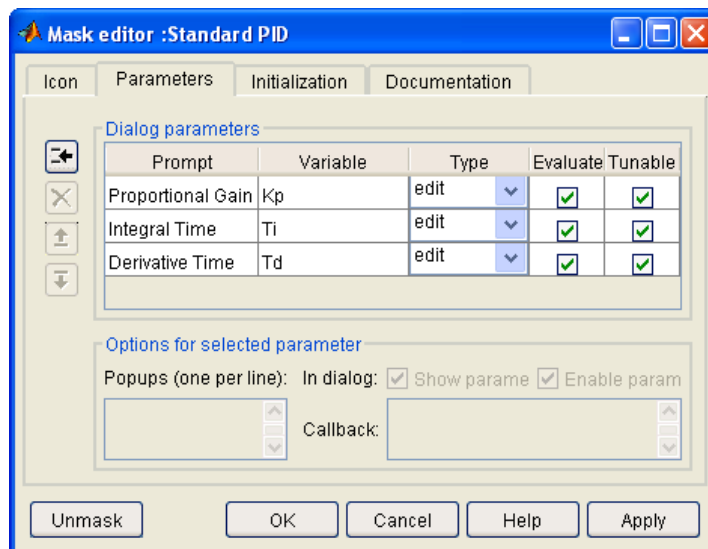
Второ, новосъздадената подсистема се маркира чрез **Edit/Mask subsystem**, което предизвиква поява на специален диалог на редактора на маските **Mask editor** за реализиране на интерфейс в следната последователност:

(а). Чрез избор на опцията **Icon** се активира интерфейс за редактиране на вида на блока. Основен елемент в него представляват командите за изчертаване, дадени в табл. 1.

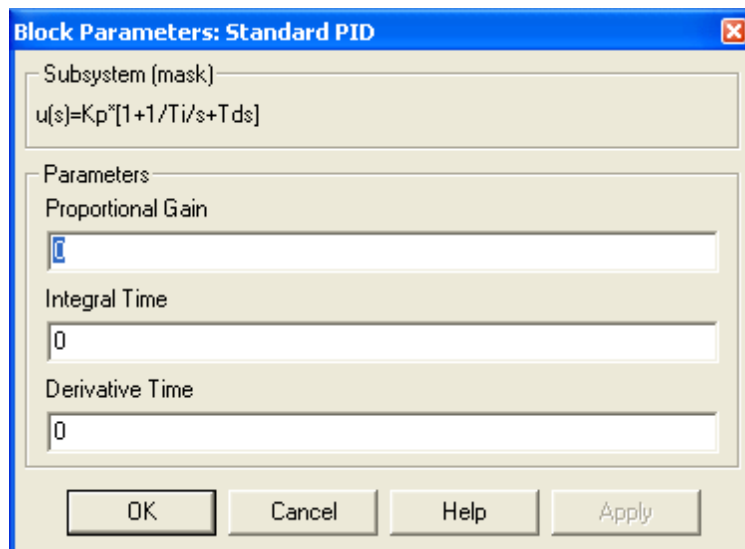
**Таблица 1**

<code>disp(' PID '), port_label('input',1,'e'), port_label('output',1,'u')</code>
---

(б). Чрез опцията **Parameters** на **Mask editor** (фиг. 3) се активира интерфейс за създаване на програмни условия, които предизвикват формиране на диалог, показан на фиг. 4, за начално уточняване на стойностите на параметрите на този блок.

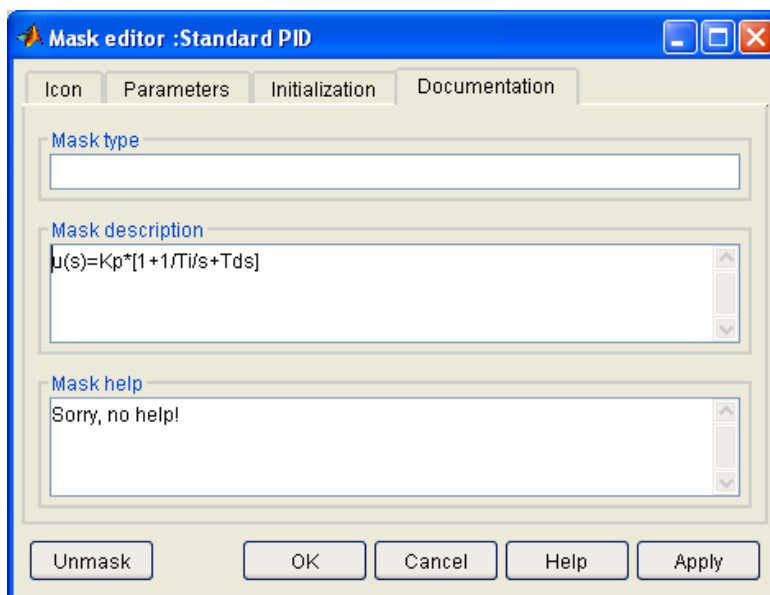


Фигура 3. Дефиниране на диалог за параметрите на блока



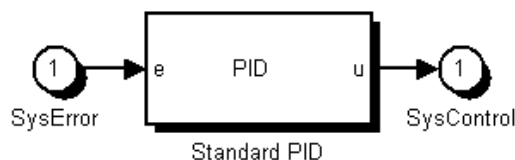
Фигура 4. Инициализиращ диалогов прозорец на собствена схема на ПИД

(в). Чрез опцията **Documentation** на **Mask editor** (фиг. 5) се активира интерфейс за подготовка на допълнителната информация, която да съпровожда създадения блок.



Фигура 5. Дефиниране на спомагателна информация за блока

(г). След допълнително редактиране на наименованието на блока със специфичното име **Standard PID** е изведен окончателният вид на библиотечния блок, показан на фиг. 6.



**Фигура 6.** Едноелементна схема на собствен стандартен ПИД регулатор

По аналогичен начин се изгражда **Industrial PID** според описание (2).

### 2.3. Изрази за оценяване на качеството на процесите в САУ

Поведението на една САУ може да се оцени чрез различни показатели. Една част от тях може да се определи в рамките на интервала на изследване и представлява осреднена количествена мярка за функционалното действие на съответния регулатор. Тези показатели са следните:

(а). **Максимално пререгулиране**  $\sigma_{\max}$

$$\sigma_{\max} = y_{\max} - r(\infty) . \quad (5)$$

(б). **Време за установяване на преходния процес**  $t_{ycm}$

Величината  $t_{ycm}$  съответства на времето, за което  $|e(t)| \leq 0.01 |r(t)|$ , при условие, че  $e(t) = y(t) - r(t)$ .

(в). **Средно-квадратична грешка в управлението**  $S_e$

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^T e^2(t)} . \quad (6)$$

(г). **Средно-квадратично отклонение на управлението**  $S_u$

$$S_u = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \Delta^2 u(t)} , \quad \Delta u(t) = u(t) - u_{ycm} . \quad (7)$$

(д). **Претеглен квадратичен критерий на качеството**  $S_{eu}$

$$S_{eu} = \sqrt{\sum_{t=0}^T (e^2(t) + \gamma \Delta^2 u(t))} . \quad (8)$$

### 2.4. Начални данни за провеждане на изследванията

Моделират се следните елементи в САУ:

(а). Непрекъснатият обект на управление е зададен с конкретна предавателна функция (от ръководителя на упражнението).

(б). Аналоговите ПИД регулатори се представят като собствени схеми от съответен вид. Настройването на параметрите им се извършва по метод на проби и грешки, с цел да се осигури устойчиво поведение на САУ.

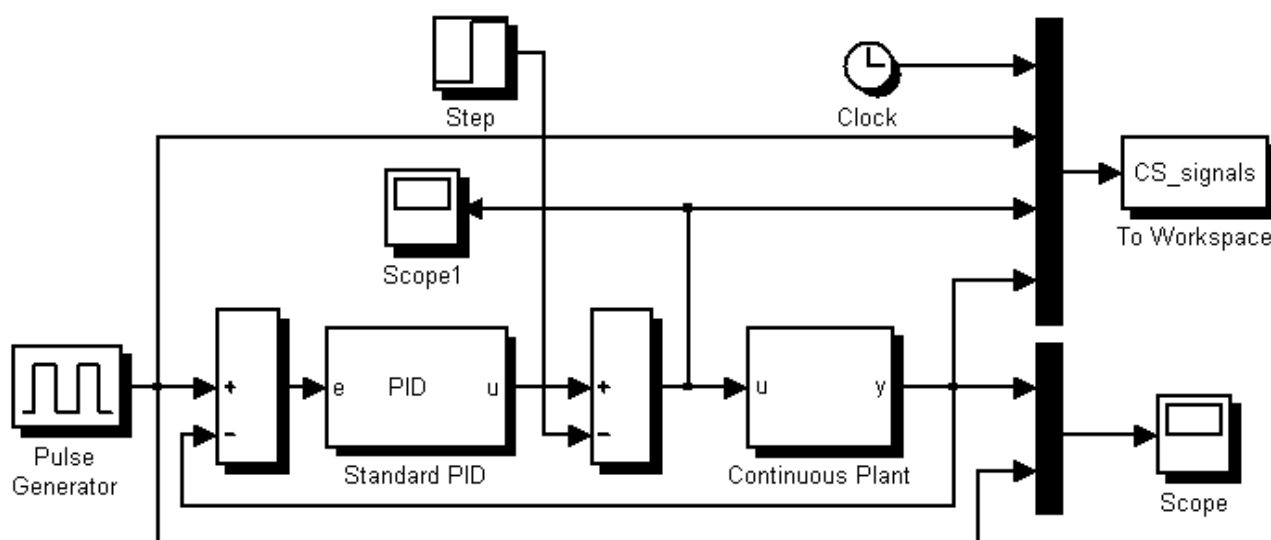
(в). Товарно смущение  $d$  в САУ се симулира чрез осигуряване на допълнително стъпално въздействие с отрицателна (положителна) амплитуда с големина най-много 50% от установената стойност на регулируемата величина  $y$ , адитивно насложено върху управлението  $u$  и приложено на входа на обекта в момент от времето, когато вече е отработено заданието  $r$ .

## 2.5. Особенности на изпълнението на задачите

Препоръчва се:

(а). С всеки един от изследваните аналогови ПИД регулатори да се симулира САУ на непрекъснатия обект, като численото интегриране се реализира чрез метод на *Runge-Kutta* с променлива или относително малка постоянна стъпка, чиято стойност е съобразена с динамиката на обекта.

(б). В достатъчно голям интервал от време да се наблюдават на мониторите чрез блокове **Scope** и записват в променливи чрез блокове **To Workspace** сигналите в САУ (фиг. 7): задание  $r$ , грешка в системата  $e$ , управление  $u$  (изхода на регулатора, входа на обекта) и регулируемата величина  $y$  (изхода на обекта, изхода на САУ), за да бъдат възпроизведени в MATLAB чрез функцията **plot** и документираны в протокол на изследванията.



Фигура 7. Примерна непрекъснатата САУ с ПИД регулатор

(г). Да се разиграят варианти за стойностите на параметрите на ПИД регулаторите, така че от тяхната промяна и взаимни съотношения да се изведат зависимости за качеството на управлението на САУ и се осъществи проверка на показателите в табл. 2.

Таблица 2

Нарастване на	Скорост на изменение	Пререгулиране	Време за установяване	Статична грешка	Устойчивост
$P \equiv K_p$	намалява	нараства	слабо нараства	намалява	влошава
$I \equiv K_p / T_i$	слабо намалява	нараства	нараства	силно намалява	влошава
$D \equiv K_p * T_d$	слабо намалява	намалява	намалява	слаба промяна	подобрява

### 3. ЗАДАЧИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ

**3.1.** Създава се собствен блок под името **Standard PID**, който реализира закона на управление (1) с параметри, които съответстват на настройваемите коефициенти  $K_p$ ,  $T_i$  и  $T_d$ . Препоръчва се оформянето му в SIMULINK според указанията в 2.2.

**3.2.** Създава се собствен блок под името **Industrial PID**, който реализира закона на управление (2) с параметри, които съответстват на настройваемите коефициенти  $K_p^*$ ,  $T_i^*$  и  $T_d^*$  като функции на коефициенти  $K_p$ ,  $T_i$  и  $T_d$ , преизчислени с изразите (4). Препоръчва се оформянето му в SIMULINK според указанията в 2.2.

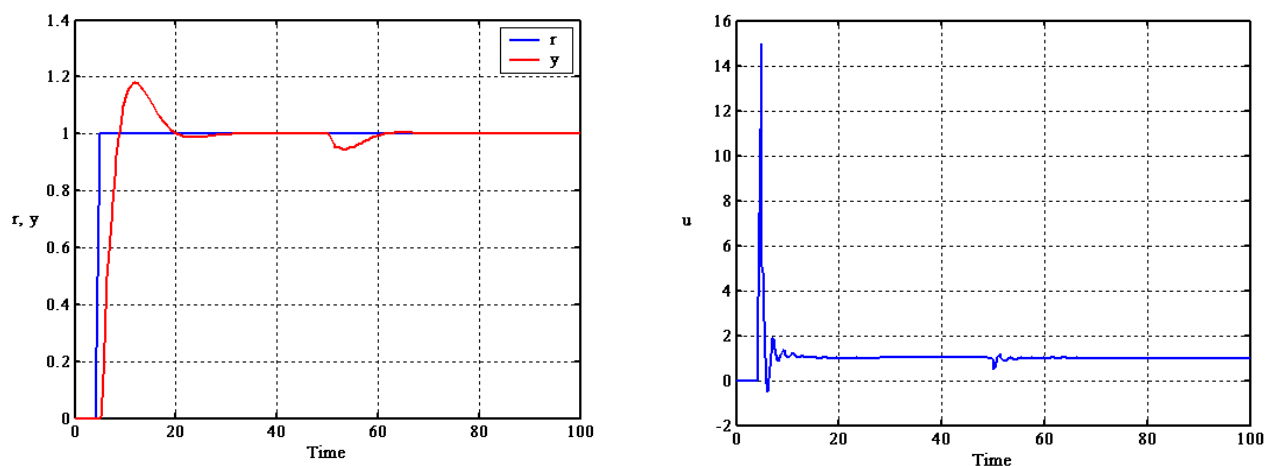
**3.3.** Прави се проверка за работоспособността на САУ с така изградените регулатори. Изследването се извършва с примерната схема на фиг. 7. Обектът на управление се моделира с блока **Continuous Plant**, в който са групирани конкретните елементи, с които се описва неговата непрекъсната предавателна функция. Заданието се формира от блок **Step**, но може да се представя еднозначно и с блока **Pulse Generator** във вид на единичен импулс със 100% запълване на периода. Алтернативното решение дава допълнителна възможност за генериране на знакопроменлив периодичен сигнал на заданието. Товарното смущение от блок **Step** се формира като 50% от амплитудата на заданието и се включва в САУ след отработване на заданието. Препоръчва се поставяне на ограничителен елемент по амплитуда на входа на обекта, за да се избегнат относително големи стойности на управляващото въздействие.

**3.4.** Разработват се функции в MATLAB, които реализират изразите (5-8). В таблици се вписват резултатите от анализа на функциониране на сигналите в САУ.

**3.5.** Извършва се проверка за верността на закономерностите от табл. 2., където е анализиран ефектът от самостоятелната промяна на всеки параметър на класическия ПИД регулатор върху поведението на регулируемата величина в САУ.

### 4. ПРИМЕРНИ РЕЗУЛТАТИ

На фиг. 8 може да се наблюдава препоръчителното подреждане на графиките на основните сигнали в САУ – задание и регулируема величина (отляво) и управление (отдясно) при конкретна настройка на ПИД регулатора.



**Фигура 8.** Поведение на сигналите в САУ с ПИД регулатор при (  $K_p$  ,  $T_i$  ,  $T_d=T_i/4$  )