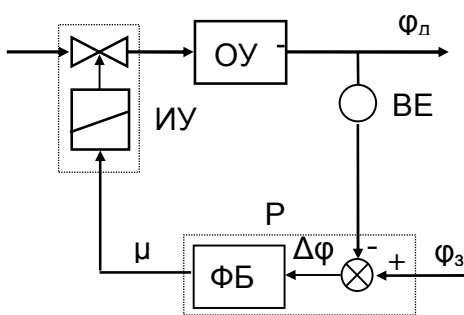


Целта на упражнението е запознаване с основните линейни закони на регулиране, функционалната структура и изследване на електронен ПИД регулатор.

**ТЕОРЕТИЧНИ ПОЛОЖЕНИЯ**

Функционалната схема на система за автоматично регулиране (САР) за една технологична величина е дадена на фиг.13.1, означенията са:



Фиг. 13.1 Функционална схема на едноконтурна САР

- ОУ - обект за управление;
- ВЕ - възприемащ елемент за регулируемата величина;
- Р – регулатор;
- ИУ - изпълнително устройство (ИМ+РО);
- ИМ - изпълнителен механизъм;
- РО - регулиращ орган;
- $\varphi_3(t)$  – зададена стойност за регулираната величина;
- $\varphi_4(t)$  – действителна (измерена) стойност на регулираната величина;
- $\Delta\varphi(t)=\varphi_3(t)-\varphi_4(t)$  – грешка (разсъгласуване, отклонение) в системата;
- $\mu(t)$  – управляващ сигнал от регулатора.

Основен елемент във всяка система за автоматично регулиране е регулатора. Предназначението му е да сравнява зададената с действителната стойност на регулируемата величина (анализира разликата) и в зависимост от съотношението им, да изработва управляващ сигнал към изпълнителното устройство (ИУ), което въздейства непосредствено на входа на обекта, като обикновено променя материалния или енергийния поток непосредствено към него.

Най-общо, регулатора съдържа суматор на входа, които формира разликата и функционален блок (ФБ), който преобразува грешката по подходящ начин. Функционалната зависимост, която се реализира между грешката и управляващото въздействие  $\mu(t)=f(\Delta\varphi(t))$ , обикновено се нарича закон за регулиране (управление). Тази зависимост основно определя качествата на регулатора и от нея произлиза и името.

Едни от най-разпространените регулатори са с Пропорционално-Интегрален и Диференциален (ПИД) закон за регулиране или производните от него - П, И, ПИ, ПД. ПИД законът се представя със следната математическа зависимост:

$$\mu(t) = K_p \Delta(t) + K_u \int_0^t \Delta(\tau) d\tau + K_d \frac{d\Delta}{dt}$$

В тази формула  $K_p$ ,  $K_u$  и  $K_d$  - са коефициенти на пропорционалност, съответно за трите компоненти в ПИД закона. Тези коефициенти определят

статичните и динамичните качества на регулатора и чрез задаване на конкретни стойности, регулаторът се адаптира (настройва) за работа с конкретния ОУ. Тези коефициенти се наричат параметри за настройка на ПИД регулатора и на практика са известни като:

$K_p$  – коефициент на пропорционалност;

$T_u = \frac{1}{K_u}$  - времеконстанта на интегриране;

$T_d = K_d$  - времеконстанта на диференциране.

В регулаторите за универсалност, на тези параметри могат да се задават стойности в широки интервали и чрез задаване на различни стойности се променя относителния дял на съответната компонента в общия управляващ сигнал  $\mu(t)$ . Задаване на нулеви стойности елиминира влиянието на съответната компонента в закона и се получават т.н. производни закони на ПИД закона. Най-често се използват вариантите:

а) Пропорционален (П) закон, получава се ако:  $T_u = \infty$ ,  $T_d = 0$  и  $K_p \neq 0$ , законът придобива следния вид:

$$\mu(t) = K_p \Delta\varphi(t) \quad \text{или за скоростта} \quad \frac{d\mu}{dt} = K_p \frac{d(\Delta\varphi)}{dt}.$$

б) Интегрален (И) закон, получава се ако:  $K_p = 0$ ,  $T_d = 0$  и  $T_u \neq 0$ , при което законът придобива следния вид:

$$\mu(t) = \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta\varphi(t) dt \quad \text{или за скоростта} \quad \frac{d\mu}{dt} = \frac{1}{T_u} \Delta\varphi(t).$$

в) Пропорционално-интегрален (ПИ) закон, получава се ако:  $T_d = 0$ ,  $K_p \neq 0$  и  $T_u \neq 0$ , законът придобива следния вид:

$$\mu(t) = K_p \Delta\varphi(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta\varphi(t) dt \quad \text{или за скоростта} \quad \frac{d\mu}{dt} = K_p \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} + \frac{1}{T_u} \Delta\varphi(t).$$

г) Интегрален (ПИД) закон, получава се ако:  $K_p \neq 0$ ,  $T_u \neq 0$  и  $T_d \neq 0$ , законът придобива следния вид:

$$\mu(t) = K_p \Delta\varphi(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta\varphi(t) dt + T_d \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} \quad \text{или за скоростта}$$

$$\frac{d\mu}{dt} = K_p \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} + \frac{1}{T_u} \Delta\varphi(t) + T_d \frac{d^2(\Delta\varphi)}{dt^2}.$$

По аналогия, в теория на управлението, реакцията на регулатора на входно въздействие от типа на стъпалната функция се нарича Преходна Характеристика (ПХ) на регулатора. На фигурите 13.2 -13.6 е показан общия вид на ПХ на съответните регулатори. От където се вижда че:

1. Преходната характеристика на П регулатор представлява права успоредна на абсисната ос, която се намира от нея на разстояние пропорционално на  $K_p$ , фиг.13.2.

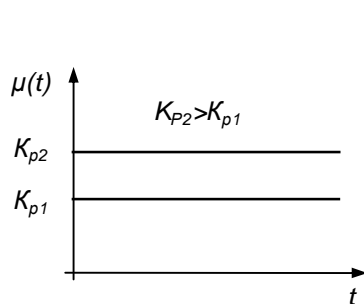
2. Преходната характеристика на И регулатор е права през началото на координатната система (при нулеви начални условия) с наклон обратно

пропорционален на времеконстантата  $T_u$ , т.е. на по-големите времеконстанти съответствуват прави с по- малък наклон, фиг.13.3.

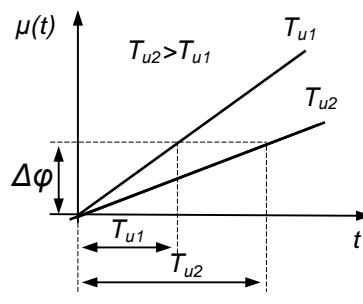
3. Преходната характеристика на фиг.13.4 е на ПИ регулатор, която може да се разглежда като сума от тези на П и И.

4. Тъй като диференциалната съставка в закона, действа само при изменение на  $\Delta\varphi(t)$ , то преходната характеристика на Д регулатора е импулс в началото, и лицето на този импулс е пропорционално на времеконстантата  $T_d$  - фиг.13.5 и 13.6. Този закон рядко се използва самостоятелно (като Д), затова е показан в комбинация с П и ПИ.

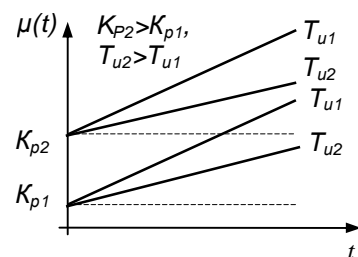
С цел универсалност, най-често се произвеждат регулатори, реализиращи ПИД закони - фиг.13.6, характеристиките на които, могат да се разглеждат като сума от характеристиките на отделните съставки т.е. ПИД = П + И + Д и структурно се представят, като паралелно свързани пропорционално, интегрално и диференциално звена.



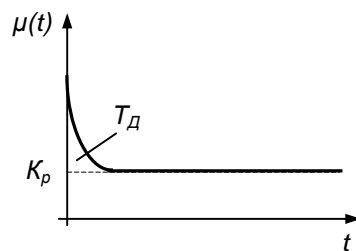
Фиг. 13.2 П-регулатор



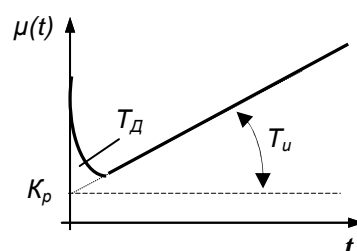
Фиг. 13.3 И-регулатор



Фиг. 13.4 ПИ-регулатор



Фиг. 13.5 ПД-регулатор



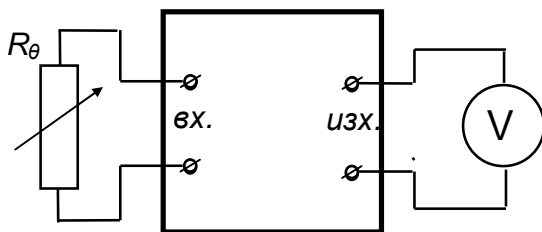
Фиг. 13.6 ПИД-регулатор

### МЕТОДИЧНИ УКАЗАНИЯ

Изследва се регулатора RT190S, чието описание е дадено в приложение към упражнението. Схемата на опитната постановка за изследване на регулатора е на фиг.13.7.

Регулируемата величина  $\varphi_d$  се задава, като изменение на съпротивлението  $R_\theta$ , еквивалентно на съответната физическа величина. За целта се използва подходящо декадно съпротивление. Регулиращото въздействие на изхода на регулатора  $\mu(t)$  се получава, като напрежение което се измерва с волтметър V.

Студентите предварително се запознават с описанието на лицевия панел,



Фиг. 12.7 Схема за изследване на регулатор RT190S

кодовете и указанията за работа с регулатора, дадени в приложението.

Целта на изследването е експериментално построяване на преходните характеристики на П, ПИ и ПИД регулатор.

**Преходни характеристики на П-регулатор.** Снемането на преходни характеристики се извършва в следната последователност.

1. Регулаторът се включва към захранващото напрежение. Задава се  $100\Omega$  с декадно съпротивление  $R_\theta$ . На индикатора за PV трябва да се покаже стойност нула (проверка на калибровката).

2. Чрез бутона A/M се задава автоматичен режим на работа на регулатора - свети червена сигнална лампа

3. Задава се от клавиатурата, стойност за SP =  $60^\circ\text{C}$

4. Установява се  $R_\theta = 123.38\Omega$  на декадно съпротивление. Индикатора за PV показва  $60^\circ\text{C}$ . При това положение PV = SV и волтметъра показва начална стойност  $\mu_{\text{нач}} = U_{\text{нач}} = 1.19\text{ V}$ .

5. Чрез бутона SHIFT се преминава към код P00 и се задава конкретна стойност за  $K_p$ . Времеkonстантите  $T_u$  (код P01) и  $T_d$  (код P02) са нули.

6. Променя се  $R_\theta$  с  $1\Omega$  (става =  $124.38\Omega$ ) - това отговаря на входно стъпално въздействие. Отчитат се показанията на волтметъра през 15s. и се записват в таблица 13.1.

7. След завършване на опита, регулатора се връща в начално положение, това става чрез задаване на  $R_\theta = 100\Omega$  за около 10 секунди и след това отново  $R_\theta = 123.38\Omega$  или превключване на регулатора от автоматичен в ръчен режим (волтметъра показва  $U = 1.19\text{V}$ ).

8. Точките 6, 7 и 8 се повтарят за друга стойности  $K_p=K_{p2}$  (уточнена с ръководителя).

**Преходни характеристики на ПИ-регулатор.** Снемането на преходни характеристики се извършва в следната последователност.

1. Преминава се към код P01 и се задава конкретна стойност  $T_u=T_{u1}$  (уточнена с ръководителя). Коефициента на пропорционалност  $K_p$  има стойност  $K_{p1}$ , приета при снемането на преходната характеристика на П-регулатора. Времеkonстантата на диференциране  $T_d$  (код P02) е нула.

2. Изпълняват се последователно т.6 и т.7, резултатите се нанасят в таблица 13.1

3. Повтарят се т.5, т.6 и т.7 за стойност на времеkonстантата на интегриране  $T_{u2}$  (уточнена с ръководителя)

**Преходни характеристики на ПИД-регулатор.** Преходните характеристики се снемат за комбинациите  $K_{p1}, T_{u1}, T_{d1}$  и  $K_{p2}, T_{u2}, T_{d2}$  (конкретните стойности се уточняват с ръководителя) в следната последователност.

1. Преминава се към код P02 и се задава конкретна стойност  $T_d=T_{d1}$

2. Изпълняват се последователно т.6 и т.7, резултатите се нанасят в таблица 13.1

3. Повтарят се т.5, т.6 и т.7 за  $K_{p2}$ ,  $T_{u2}$ ,  $T_{d2}$ .

## ОПИТНИ ДАННИ И РЕЗУЛТАТИ

Таблица 13.1

	$t$ , (sec)	0	15	30	45	60	75	90	115
П	$K_{p1}$								
	$K_{p2}$								
ПИ	$K_{p1}, T_{u1}$								
	$K_{p2}, T_{u2}$								
ПИД	$K_{p1}, T_{u1}, T_{d1}$								
	$K_{p2}, T_{u2}, T_{d2}$								

По данните от *таблица 13.1* се построяват преходните характеристики  $\Delta\mu=f(t)$  на П, ПИ и ПИД регулатори за съответните стойности за  $K_p$ ,  $T_u$  и  $T_d$ . Изменението на изходното напрежение е  $\Delta\mu = \mu - \mu_{нач}$ . Построените преходни характеристики се сравняват с показаните на фиг.13.2, фиг.13.5 и фиг.13.6.

### ВЪПРОСИ И ЗАДАЧИ

1. Обяснете диференциалните уравнения и структурата на ПИД регулаторите ?
2. Как се дефинират и построяват преходните характеристики на ПИД регулаторите ?
3. Как изглеждат преходните характеристики на П, И, Д, ПИ, ПД и ПИД регулаторите ?
4. Кои са параметрите за настройка на ПИД регулатора, как се задават на регулатора и как влияят върху преходните характеристики на регулатора?
5. Как от експерименталните преходни характеристики на регулатора, могат да се определят параметрите за настройка?
6. Как параметрите за настройка влияят върху преходните процеси на системата регулатор-обект?
7. В кои случаи се използват ПИД регулаторите и какви са предимствата и недостатъците му?