

Проектиране на непрекъснат ПИД - регулатор.

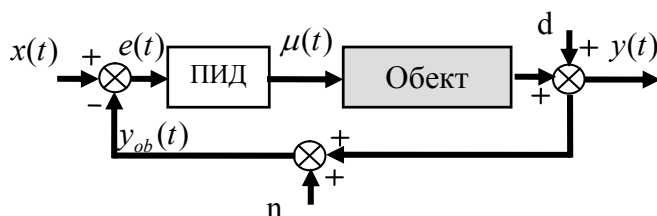
Динамичните свойства на системите за автоматично регулиране, при реализация на първия етап от проектирането им, могат да се окажат незадоволителни по отношение на предявените към тях изисквания. Системата за автоматично регулиране може да се окаже неустойчива. Дори и в случаите, когато тя е устойчива, могат да бъдат неприемливи получените качествени показатели. Например преходният процес има значително времетраене, има големи максимални динамични отклонения и значителен брой на колебанията.

Такива системи се нуждаят от коригиране, което още се нарича компенсиране. Това се осъществява чрез въвеждане на допълнителни устройства в структурата на системата, които в зависимост от предназначението си се наричат коригиращи устройства или компенсатори. По-често използвано е първото наименование.

Физическата реализация на коригиращите устройства трябва да се проектира и изгради в такива конструкции, които позволяват сравнително просто да се променят параметрите на регулатора в големи граници.

Видовете и начините на включване на коригиращите устройства са различни в зависимост от това какъв недостатък на системата трябва да се отстрани.

ПИД регулаторът е най-широко използвания алгоритъм за автоматично управление. Структурата на системата за управление с ПИД регулатор е показана на фиг.3.1.



Фиг. 3.1. Структура на система за управление с ПИД регулатор

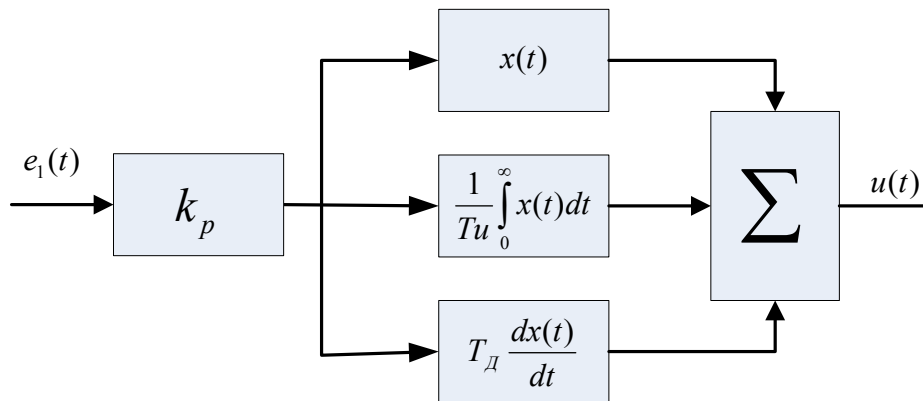
Означенията на фиг. 3.1. са: $x(t)$ - задание, $\mu(t)$ – управляващ сигнал ограничен от две граници μ_{\min} , и μ_{\max} , $y(t)$ – управляваща променлива, y_{ob} – обратна връзка връщана към ПИД регулатора. t , d и n са съответно времето, смущението и шумът при измерването.

Най-общо казано, действието на един ПИД регулатор се състои в постоянно следене на процесната величина, определяне на текущата грешка и нейното коригиране, така, че изходният сигнал на регулатора да остане почти без промяна. Тънкият момент при настройката се състои в намирането на подходящи пропорционална, интегрална и диференциална константа на регулатора. Управлението с този тип регулатори се състои в сумиране на пропорционалната, интегралната и диференциалната част, която се подава на изхода на регулатора и постоянно „гони“ процесната променлива в необходимото направление, за да се елиминира грешката. Едно от решенията за настройване на регулатора е да бъде генериран най-големият възможен изход чрез използването на

възможно най-големи константи за настройка. Един регулатор, настроен по този начин, би увеличил всяка грешка и би предизвикал крайно агресивни действия за премахване дори и на най-слабото разминаване между заданието и процесната променлива. От друга страна твърде „агресивният“ регулатор обикновено води до ситуации, при които процесната променлива подминава заданието в стремежа си да коригира моментната грешка. В най-лошия случай процесната променлива ще се озове в зона, намираща се доста по-далече от заданието, в сравнение със стойността, на която е била преди коригиращото въздействие.

От друга страна, ПИД регулатор, който е настроен твърде консервативно, би могъл да не бъде в състояние да елиминира моментната грешка, преди появата на следващата. Добре настроеният регулатор работи в област между описаните две крайни състояния. Той действа достатъчно агресивно, за да елиминира грешката, но без да допуска “залитане” в крайности.

Как най-добре да бъде настроен един ПИД регулатор зависи най-вече от това, доколко процесът отговаря на коригиращите действия на регулатора. Структурната схема на ПИД-регулатор за непрекъснати системи има вида (фиг.3.2).



Фиг. 3.2. Структура на ПИД регулатор

При класическият ПИД закон на регулиране, управляващият сигнал може да се определи чрез зависимостта:

$$\mu(t) = k_p e(t) + k_{II} \int e(t) dt + k_D \frac{d e(t)}{dt} \quad (3.1)$$

Където $e(t) = y(t) - x(t)$ - грешка в системата, k_p - коефициент на пропорционалност

$k_{II} = \frac{k_p}{T_{II}}$ - Интегрална константа, $k_D = k_p T_D$ - диференциална константа.

ПИД закона за управление се среща и във вида:

$$\mu(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_{II}} \int e(t) dt + T_D \frac{d e(t)}{dt} \right). \quad (3.2)$$

След извършване на правото преобразуване на Лаплас, се получава предавателната функция на регулатора от вида

$$W_{\text{ПИД}}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right), \quad (3.3)$$

където K_I , K_D и K_p – параметри на интегралната, диференциалната и пропорционалната съставляваща на закона за регулиране.

$$W_{\text{ПИД}}(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right). \quad (3.4)$$

Този вид регулатор често се нарича “идеален ПИД”. По-добро управление се получава при „реалният ПИД” регулатор, който се представя със зависимостта от (3.5)

$$W_{\text{ПИД}}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{1 + T_D s / N} \right). \quad (3.5)$$

Където N е константа, обикновено с приблизителна стойност 100.

При включване на ПИД регулатора последователно в системата за управление се получава предавателната функция на отворената система от вида:

$$W(s) = W_{\text{ПИД}}(s) \cdot W_o(s) = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \cdot W_o(s), \quad (3.6)$$

$$\text{където } W_o(s) = \frac{K(s + A)}{(s - s_1)(s - s_2)};$$

K , A , s_1 , s_2 са стойности за конкретния обект на управление.

На базата на ПИД закона за регулиране се получават и останалите закони за регулиране.

1. П - пропорционален.
2. И - интегрален
3. ПИ – Пропорционално – интегрален (изодромен).
4. ПД – пропорционално - диференциален

Пропорционално регулиране

Пропорционалният закон за регулиране има вида:

$$\mu(t) = k_p x(t), \quad (3.7)$$

Предавателната функция на отворената система може да се представи във вида.

$$W(s) = W_{\text{РЕГ}}(s) \cdot W_o(s) = k_p \cdot W_o(s) \quad (3.8)$$

Ще разгледаме уравнението на грешката:

$$y_{\text{ycm}} = \left[\frac{1}{1 + k_p W_o(s)} \cdot g(t) + \frac{W_f(s)}{1 + k_p W_o(s)} \cdot f(t) \right]_{\substack{s \rightarrow 0 \\ t \rightarrow \infty}} = \frac{1}{1 + k_p k_0} \cdot g_0 + \frac{W_f(0)}{1 + k_p k_0} \cdot f_0 \quad (3.9)$$

В установен режим $s \rightarrow 0$ (всичките производни са равни на нула); $W_o(s) \rightarrow k_0$; $W_o(s) \rightarrow k_p k_0 = k$ където k е коефициент на усилване на отворена система (при $W_{\text{oc}}(s)=1$).

Резюме: П-регулятора намаля грешката в установен режим $k+1$ пъти, поради това регулирането ще бъде статично т.е. за всяко k_p ще бъде изпълнено условието $k_p \cdot x_{уст} \neq 0$.

Интегрално регулиране

Интегралният закон за регулиране има следния вид :

$$\mu(t) = \frac{1}{T_I} \int e(t) dt \quad \mu(s) = W_{PER}(s) x(s) = \frac{k_I}{s} x(s) . \quad (3.10)$$

Тогава отворената системата ще се представи с предавателната функция:

$$W(s) = W_{PER}(s) W_o(s) = \frac{k_I}{s} W_o(s) . \quad (3.11)$$

Да разгледаме уравнението на грешката:

$$y_{уст} = \left[\frac{g(t)}{1 + \frac{k_I}{s} W_o(s)} + \frac{W_f(s) \cdot f(t)}{1 + \frac{k_I}{s} W_o(s)} \right] \Bigg|_{\substack{s \rightarrow 0 \\ t \rightarrow \infty}} = \frac{1}{1 + \frac{k_I k_0}{0}} \cdot g_0 + \frac{W_f(0)}{1 + \frac{k_I k_0}{0}} \cdot f_0 \quad (3.12)$$

В установен режим $s \rightarrow 0 \Rightarrow W_o(s) \rightarrow \infty$; \Rightarrow първата съставляващата на грешката $g_0 / \infty \rightarrow 0$ Грешката от смущение, зависи от вида на функцията $W_f(0)$ и може да бъде различна от нула.

Резюме: И-регулиране позволява премахване на статичните грешки в системата, т.е. системата ще бъде астатична към задаващото въздействие $g(t)$.

Интегрално регулиране по втори интеграл на грешката

Двойният интегрален закон за регулиране има следния вид:

$$\mu(t) = \frac{1}{T_I} \iint e(t) dt = W_{PER}(s) \cdot x(s) = \frac{1}{T_I s^2} = \frac{k_I}{s^2} \quad (3.13)$$

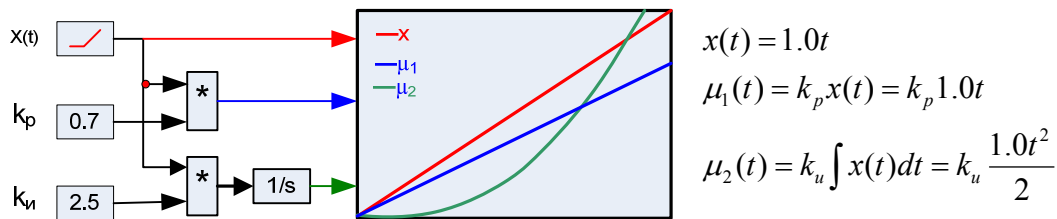
Предавателната функция на отворената система ще бъде:

$$W(s) = W_{PER}(s) \cdot W_o(s) = \frac{1}{T_I s^2} \cdot W_o(s) = \frac{k_I}{s^2} \cdot W_o(s) \quad (3.14)$$

В този случай система ще има астатизъм от втори ред – при $s \rightarrow 0$ изхода на системата ще клони към безкрайност при това грешката от смущение не се отчитат:

$$y_{уст} = \frac{g_0 + \frac{g_1}{s} + \frac{g_2}{s^2} + \dots}{1 + \frac{k_I}{s^2} W_o(s)} \Bigg|_{\substack{s \rightarrow 0 \\ t \rightarrow \infty}} = \frac{g_0 + \frac{g_1}{0} + \frac{g_2}{0^2} + \dots}{1 + \frac{k_I k_0}{0^2}} = 0 + 0 + \frac{\frac{g_2}{0^2}}{1 + \frac{k_I k_0}{0^2}} + \dots \quad (3.15)$$

Резюме: Повишаването на порядъка на астатизъм води до увеличение на точността в установен режим на системата за автоматично регулиране (САР), но прави системата по-бавна.



Фиг. 3.2 Система за автоматично регулиране

На фигурата е показано, че колкото и да е малък коефициентът на усилване на пропорционалния канал, и колкото и да е голям коефициентът на усилване на интегралния канал, за малките отклонения на грешката $x(t)$ сигналът на управление на обекта $\mu(t)$, интегралният канал се формира с по-малка интензивност.

Изодромно регулиране - ПИ

Изодромният закон на регулиране има следният вид:

$$\mu(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt \right), \quad \mu(t) = W_{\text{PI}}(s) x(t) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) x(t). \quad (3.16)$$

Предавателната функция на отворената системата е:

$$W(s) = W_{\text{PI}}(s) W_o(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) W_o(s) \quad (3.17)$$

Ако $s \rightarrow 0$, тогава $W(s) \rightarrow \infty$ и регулирането ще бъде астатично. Обаче ако $s \rightarrow \infty$, тогава $W(s) \rightarrow k_p k_o = k$ и регулирането ще бъде пропорционално.

Резюме: ПИ-регулирането съчетава точността на И-регулирането и бързодействието на П-регулирането.

Регулиране с използването на производни.

Регулиране с използване на един канал чувствителен към производната на сигнала няма самостоятелно приложение:

$$\mu(t) = T_D \frac{d e(t)}{dt} = W_{\text{PI}}(s) x(t) = k_D \cdot s \cdot x(t) \quad (3.18)$$

ще бъде равен на нула при $s \rightarrow 0$ (т.е. в установен режим). Затова задължително е паралелно да има или П, или И-канал, а по-често и двата:

$$\mu(t) = k_p \left(e(t) + T_D \frac{d e(t)}{dt} \right), \quad \mu(t) = W_{\text{PI}}(s) x(t) = (k_p + k_D s) x(t) \quad (3.19)$$

В този вариант при регулатора управляващото въздействие ще се формира дори при $x(t)=0$, но $\frac{dx(t)}{dt} \neq 0$ т.е. наличието на паралелния D-канал в регулатора повишава бързодействието на системата и ще понижава грешките в динамиката.

Синтезиране на ПИД регулатор

За да се синтезира ПИД – регулатор е необходимо да се намерят трите параметъра K_I , K_D и K_P .

Избираме две нули на регулатора така, че те да компенсират полюсите на процеса и получаваме:

$$s^2 + \frac{K_p}{K_d}s + \frac{K_I}{K_d} = (s - s_1)(s - s_2) = s^2 - s(s_1 + s_2) + s_1s_2 \quad (3.20)$$

Приравняваме коефициентите пред еднаквите степени на s , получаваме система от уравнения, в която избираме единият от коефициентите и изчисляваме останалите два. По този начин получаваме всичките 3 параметъра съставлящи непрекъснатият ПИД-регулатор.