

Лабораторно упражнение 3

АНАЛОГОВИ ПИД РЕГУЛАТОРИ С РАЗШИРЕНО ОПТИМАЛНО НАСТРОЙВАНЕ

1. ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Да се експериментират различни схеми и различни показатели за реализиране на оптимизационната процедура. Да се анализира какъв е ефектът от избора на различни ограничителни условия при настройване на регулаторите върху различното поведение на САУ.

2. МЕТОДИЧНИ УКАЗАНИЯ

Чрез допълнителни фактори в показателя, чрез различни програмни функции и чрез различни схемни и програмни ограничения върху сигнали и параметри могат да се постигнат различни по ефект в САУ настройки на оптимално проектирания регулатор.

2.1. Избор на показател за качество на управлението на регулатор в САУ

- Претеглени показатели

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

$$ITAE = \int_0^T t |e(t)| dt$$

(а). Показател на претеглената с t абсолютната грешка

(б). Показател на претеглената с t или t^2 квадратичната грешка

$$ITSE = \int_0^T t e^2(t) dt \quad \text{или} \quad ISTE = \int_0^T t^2 e^2(t) dt$$

- Разширени показатели

Разгледаните стандартни показатели IAE и ISE могат да бъдат **разширявани** (допълвани) с още един фактор - $u(t)$, чрез който се отчита текущото поведение на управлението. Така напр., ISE може да приеме следния разширен вид

$$ISEU = \int_0^T [e^2(t) + \alpha u^2(t)] dt, \quad (\alpha < 1),$$

като съотношението между двата фактора в подинтегралната функция се определя от стойността на тегловния коефициент α пред втория фактор: колкото по-голям е α , толкова по-малко се изменя $u(t)$. По този начин в

проектираната САУ не се допуска (наказва се!) управление с твърде големи амплитуди, но за сметка на това заданието се обработва относително бавно.

Показателят може да се разширява и с $\Delta u(t)$, чрез който се отчита влиянието на отклонението на управляващата променлива $u(t)$ от някаква установена (ограничена) стойност, т.е. не се допускат резки промени в управлението. В този случай

$$ISE \Delta U = \int_0^T [e^2(t) + \alpha \Delta u^2(t)] dt, \quad (\alpha < 1),$$

- **Дискретен вариант на показателите**

На практика при компютърна реализация на оптимизационната процедура, независимо дали регулаторът е аналогов или цифров, описаните показатели се преобразуват така, че интегралът се заменя със сума при фиксирана горна граница на изменение на величините. Така $ISE \Delta U$ се модифицира посредством израза

$$ISE \Delta U \rightarrow \sum_{k=0}^N [e^2(k) + \alpha \Delta u^2(k)], \quad N = T/T_0.$$

за такт на дискретизация T_0 на сигналите при компютърното им обработване.

2.2. 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.

2.3. Особености на изпълнението на задачите

Препоръчва се:

- За начални стойности на коефициентите в оптимизируемия ПИД регулатор да се избират настройките от конкретни методики от ЛУ 1.
- 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.
- Оптималните настройки се определят при едновременното или самостоятелното действие в САУ на промяна в заданието и поява на товарно смущение.

3. ЗАДАЧИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ

- Да се реализира оптимално настройване на аналогов ПИД регулатор със схемни ограничения върху управлението по амплитуда и скорост на изменение при ISE показател на грешката в САУ и грешката от еталонния модел.

Процедурата за оптимално настройване се реализира за случая с ограничения на амплитудата на управление и скоростта на изменението ѝ, като се използва видоизменена блок-диаграмата **s_cls_1c** вместо **s_cls_1** или **s_cls_2c** вместо **s_cls_2**. За целта в тях след ПИД регулатора се включват стандартните блокове от SIMULINK **Saturation** и **Rate Limiter**. Стойностите на ограниченията се съгласува с ръководителя на упражнението.

3.2. Да се реализира оптимално настройване на аналогов ПИД регулатор при ISE показател със съчетани ограничения: схемни върху амплитудата на управлението и програмни - върху някои настройваеми коефициенти.

Тази задача изисква известно коригиране на използваните програми по отношение на функцията за оптимизация. Необходимо е предварително да се дефинират ограничителните условия според конкретно използвания алгоритъм. Напр., чрез операторите

$$LB=[1 \ 1 \ 0.25]; \ UB=[10 \ 40 \ 10];$$

се формулират следните изисквания за допустими измененията в настройваемите коефициенти:

$$1 < K_p < 10, \quad 1 < T_i < 40, \quad 0.25 < T_d < 10$$

Тогава в главната програма функцията за безусловна оптимизация **fminsearch** се замества с тази за условна **fmincon** с примерното обръщение:

$$\text{pid} = \text{fmincon}('cls_er_1', \text{pid}, [], [], [], LB, UB, [], \text{options})$$

Възможни са и други начини за дефиниране на ограничителни условия.

3.3. Да се реализира оптимално настройване на аналогов ПИД регулатор при ISEU показател със съчетани ограничения: схемни върху амплитудата на управлението и програмни - върху някои настройваеми коефициенти.

Тук се следва последователността от подзадачи, описани в т. 3.2, като на всяка стъпка от обръщение към съответната функция за формиране на обобщената грешка в показателя на оптимизационната процедура се използват данните от двете колони на служебната променлива **u** от схемата на САУ от СУ 3, които съхраняват съответно стойностите на грешката **e** и управлението **u** в САУ. Тогава към функцията **cls_er_2** се добавя операторът:

$$u = \text{interp1}(t, y(:,2), 0:S:T);$$

и новият оператор на грешката става

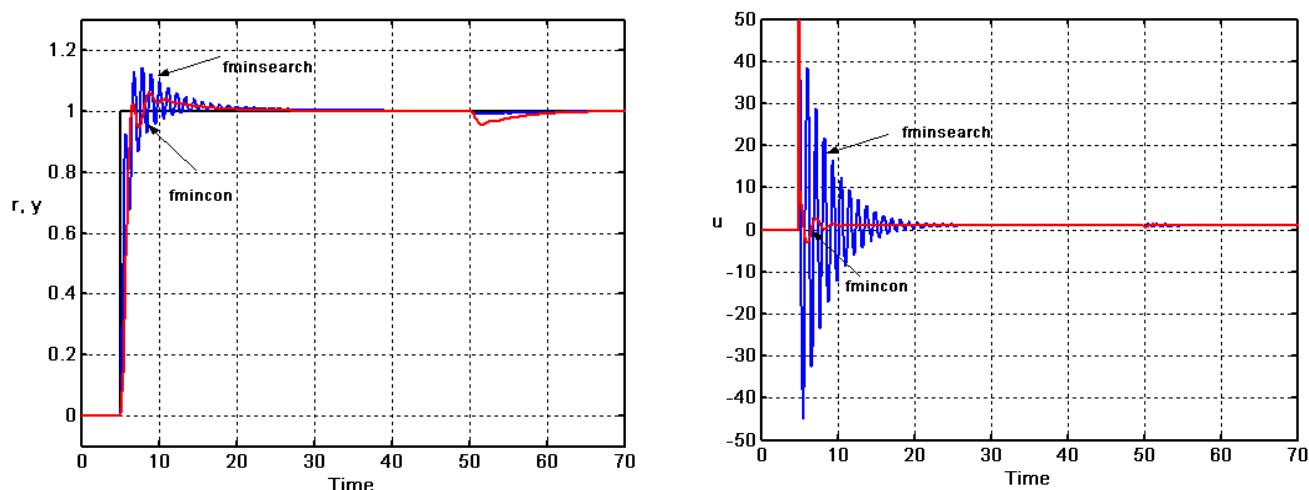
$$f = e*(e') + \alpha * u*(u');$$

3.4. 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, чрез различни критерии, чрез условна или безусловна оптимизация, чрез схемна или програмна форма на ограниченията, чрез различни функции, които реализират оптимизацията и т.н.

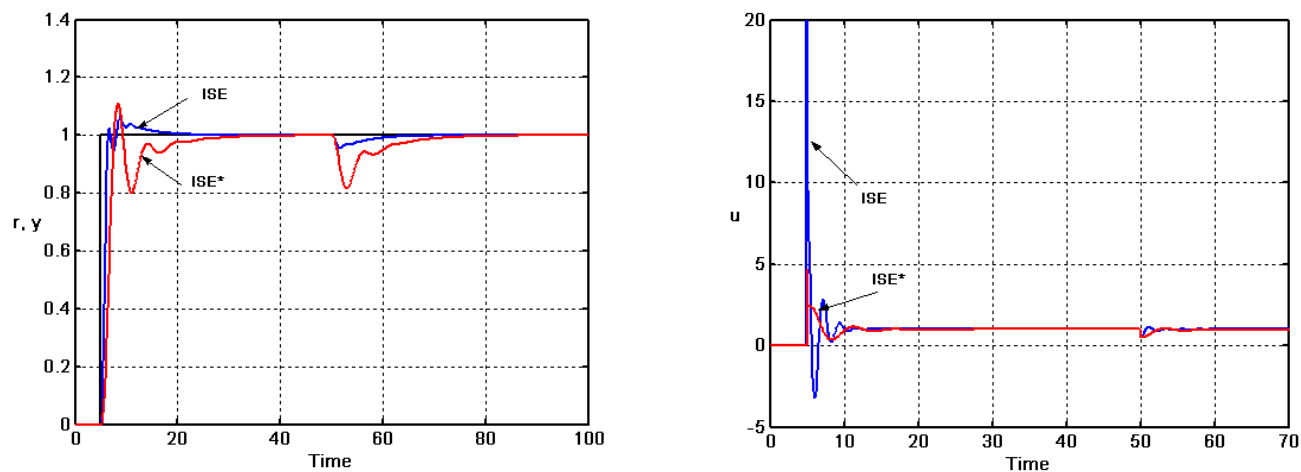
ПРИМЕРНИ РЕЗУЛТАТИ

Действието на използваните оптимизационни функции се представят посредством разпечатване на изчислителните резултати от междинните стъпки на търсещите решение процедури. Крайните резултати от оптималното настройване на ПИД регулаторите се демонстрира чрез поведението на сигналите в САУ. На фиг. 1 са съпоставени резултати от прилагане на оптимизация без и с ограничения на оптимизираните параметри, като се наблюдава ефектът от същественото снижаване на амплитудата на управление.



Фигура 1. $y(t)$ и $u(t)$ в САУ с ПИД, настроен чрез *fminsearch* и *fmincon*

На фиг. 2 са съпоставени резултати от прилагане на оптимизация по два показателя с ограничения на оптимизираните параметри, като се наблюдава ефектът от същественото снижаване на амплитудата на управление при комплексния показател.



Фигура 2. $y(t)$ и $u(t)$ в САУ с ПИД, настроен чрез *fmincon* с показатели *ISE* и *ISEU*