

Аналогові системи

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з
дисципліни „Теорія автоматичного керування”
для студентів спеціальності „Автоматизоване управління
технологічними процесами”
напряму „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету

Київ
НТУУ «КПІ»
2014

Аналогові системи: Метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „ Теорія автоматичного керування ” для студентів спеціальності „Автоматизоване управління технологічними процесами” напряму „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технологічні комплекси” / Уклад.: О.В. Ситніков”, 2014. – 43с.

*Гриф надано Вченою радою ІХФ
(Протокол № від 2014р.)*

Навчальне видання

АНАЛОГОВІ СИСТЕМИ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „ Теорія автоматичного керування ” для студентів спеціальності „Автоматизоване управління технологічними процесами” напряму „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

Укладачі: Ситніков Олексій Володимирович

Відповідальний редактор А.І.Жученко, д-р техн.наук, проф.

Рецензент : В.І. Сівецький, к.т.н., проф.

Авторська редакція

Зміст

Вступ.....	4
<i>Лабораторна робота №1</i>	
Метод кореневого годографа	6
<i>Лабораторна робота №2</i>	
Настройка системи на заданий показник коливності.....	11
<i>Лабораторна робота №3</i>	
Оптимізація системи за інтегральними показниками.....	15
<i>Лабораторна робота №4</i>	
Розрахунок каскадних систем регулювання	25
<i>Лабораторна робота №5</i>	
Метод фазового простору.....	29
<i>Лабораторна робота №6</i>	
Перехідні процеси в нелінійних системах.....	32
Додатки.....	37
Список рекомендованої літератури.....	43

ВСТУП

Дослідження системи автоматичного керування неможливе без моделювання систем та візуального представлення результатів у вигляді графіків, годографів.

Коли не було можливості виводити результати на монітор, графіки, годографи будувалися вручну на міліметровому папері, що призводило до великої трати часу на оформлення одного результату.

З появою перших ЕОМ результат почав виводитись у вигляді текстових символів в окремих точках, що імітували графіки. Це не було досконалим, але дозволяло вирішити хоча б одну задачу – економія часу дослідника.

В наші часи задачі дослідження аналогових систем керування спрощені до мінімуму внаслідок наявності високошвидкісного комп'ютера. Всі результати (корені, графіки) виводяться на екран в лічені частки секунди.

Досліднику залишається тільки змінювати параметри настройки системи, параметри об'єкта керування.

Програми, написані на мові програмування Turbo Pascal, дозволяють повністю вирішувати поставлену вище задачу – швидке отримання графічного представлення результату – поведінки чи характеристики моделі системи керування.

Сучасна теорія автоматичного керування вивчається на новітніх програмних засобах, наприклад *MathCad* або *Mathlab*, але для задач цього курсу досить програм написаних на *Pascal*.

В даному посібнику розглянуто методичні вказівки до практичних робіт, які необхідні для ілюстрації матеріалу, що розглядається на лекціях.

Передбачено наступні лабораторні роботи: метод кореневого годографа (лабораторна робота №1); настройка системи на заданий показник коливності M_k (лабораторна робота №2). Оптимізація системи за інтегральними показниками (лабораторна робота №3), розрахунок каскадних систем регулювання (лабораторна робота №4). Метод фазового простору

(лабораторна робота №5). Перехідні процеси в нелінійних системах (лабораторна робота №6).

В додатку приведено опис інтерфейсу програми.

Програма *TarWrTau* необхідна для практичних робіт №1-2, *DemOptHd* – робота №3, *Cascad* – робота №4, *FazPort* – робота №5, *PPNS* – робота №6, що дозволяють використовувати даний посібник для самостійного опанування матеріалу.

МЕТОД КОРЕНЕВОГО ГОДОГРАФА

Мета роботи: вивчити вплив значень нулів та полюсів передаточної функції розімкненої системи на динамічні властивості замкненої системи.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При використанні метода траєкторій коренів вважають змінними один з параметрів системи регулювання та наносять на комплексну площину відповідні йому корені характеристичного рівняння замкненої системи. Отримані траєкторії називають *кореневим годографом*.

Нехай передаточна функція $W_{зам}(s)$ замкненої системи регулювання з від'ємним зворотнім зв'язком має вигляд:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)} \quad (1.1)$$

де $W_{роз}(p)$ - передаточна функція розімкненої системи. Вона має вигляд відношення двох поліномів:

$$W_{роз}(p) = k \frac{B(p)}{A(p)} = k \frac{p^m + b_{m-1}p^{m-1} + \dots + b_1p + b_0}{p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \dots + a_1p + a_0}; \quad (1.2)$$

$$m \leq n,$$

де k – коефіцієнт.

Корені полінома $B(p)$ називаються нулями, а полінома $A(p)$ – полюсами передаточної функції розімкненої системи. Функція $W_{роз}(p)$ може бути подана у вигляді:

$$W_{зам}(p) = k \frac{\prod_{j=1}^m (p - \alpha_j)}{\prod_{i=1}^r (p - \lambda_i)}, \quad (1.3)$$

$$i = 0, 1, \dots, n, \quad j = 0, 1, \dots, m$$

де α_j - j -й нуль, λ_i - i -й полюс $W_{роз}(p)$.

Знаючи розташування цих нулів та полюсів, можна знайти корені характеристичного рівняння замкненої системи для різних k . Передаточна функція замкненої системи з урахуванням (1.1), та (1.2) має вигляд:

$$W_{\text{зам}}(p) = k \frac{\frac{B(p)}{A(p)}}{1 + k \frac{B(p)}{A(p)}}, \quad (1.4)$$

а її характеристичне рівняння:

$$1 + k \frac{B(p)}{A(p)} = 0, \quad (1.5)$$

або

$$k \frac{\prod_{j=1}^m (p - \alpha_j)}{\prod_{i=1}^n (p - \lambda_i)} = -1. \quad (5.6)$$

Враховуючи, що p – комплексна величина, рівняння (1.6) може бути подано у вигляді системи двох рівнянь:

$$\sum_{j=1}^m \Theta_j^m - \sum_{i=1}^n \Theta_i^n = \pm(2h+1)\pi; \quad h = 0, 1, 2, \dots; \quad (1.7)$$

$$k \frac{\prod_{j=1}^m \text{mod}(p - \alpha_j)}{\prod_{i=1}^n \text{mod}(p - \lambda_i)} = 1 \quad (1.8)$$

де Θ_j^m та Θ_i^n - кути між векторами дійсної осі та векторами, що проводяться з нулів та полюсів в деяку точку A комплексної площини p (рис. 1.1).

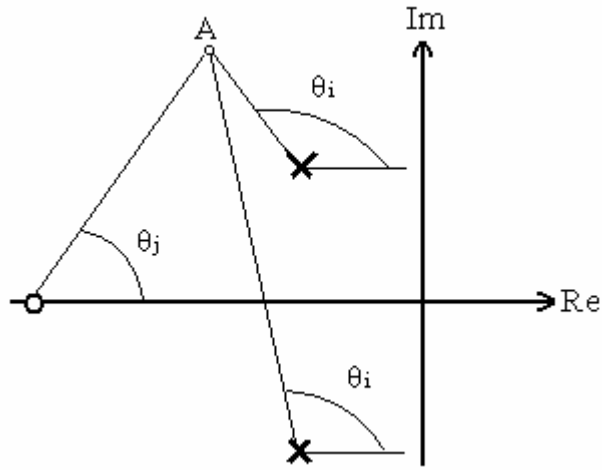


Рис. 1.1 S – комплексна площина

Траєкторії коренів рівняння (1.5), що формуються при зміні параметра k від 0 до ∞ , є **кореневим годографом** замкненої системи регулювання. Рівняння (1.7) називається рівнянням фаз, або рівнянням кореневого годографа.

ВЛАСТИВОСТІ КОРЕНЕВОГО ГОДОГРАФА

Кількість гілок годографа дорівнює степеню характеристичного рівняння замкненої системи. При $k=0$ траєкторії коренів починаються в полюсах $W_{\text{роз}}(p)$. При $k \rightarrow \infty$ m траєкторії коренів зливаються в точки, що відповідають нулям $W_{\text{роз}}(p)$, а решта $(n-m)$ траєкторій прямують в нескінченність.

Траєкторії коренів – безперервні лінії, ділянки траєкторії, що відповідають комплексно-спряженим кореням, симетричні відносно дійсної осі.

Траєкторії на дійсній осі співпадають з тими її відрізками, праворуч від яких загальна кількість дійсних нулів та полюсів $W_{\text{роз}}(p)$ непарна.

Асимптоти траєкторії коренів при $k \rightarrow \infty$ є ображуючи, що виходять з точки на дійсній осі з абсцисою

$$\delta_a = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i - \sum_{j=1}^m \alpha_j}{n - m}, \quad (1.9)$$

де λ_i, α_j - відповідно полюси та нулі $W_{\text{роз}}(p)$.

Кути нахилу асимптот відносно дійсної осі

$$\gamma_a = \frac{2i+1}{n-m}\pi, \quad i = \{0, (n-m-1)\}. \quad (1.10)$$

Точки перетину з дійсною віссю, в яких траєкторії залишають дійсну вісь, відповідають кратним кореням рівняння (1.5). Вони визначаються з рівняння:

$$A(p)\frac{dB(p)}{dp} - B(p)\frac{dA(p)}{dp} = 0, \quad (1.11)$$

і повинні відповідати рівнянню фаз (1.7). Точки перетину годографа з уявною віссю (критичні) можна визначити, використовуючи критерії стійкості.

Кореневий годограф дозволяє визначити залежність ряду властивостей системи від параметра k , а саме: характер перехідного процесу (аперіодичний чи коливальний); залежність частот коливання від k ; область стійкості системи; швидкодію (за ступенем стійкості), ступінь коливності та інше.

ПРОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За даною структурою системи регулювання складіть характеристичне рівняння замкненої системи.
2. Задайте 0 нулів та
 - а) 1 полюс розімкненої системи;
 - б) 2 однакових полюси;
 - в) 3 однакових полюси;
 - г) 4 однакових полюси.

Задайте діапазон зміни k та кількість точок годографа.

3. Побудуйте годографи.
4. Змініть кількість нулів від одного до трьох та виконайте пп.. 2-4 для різних полюсів.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як, маючи передаточну функцію розімкненої системи, отримати передаточну функцію замкненої системи?
2. Що таке нулі та полюси передаточної функції?
3. Що таке кореневий годограф?
4. Описати вигляд отриманого кореневого годографа.

5. Описати залежність властивостей замкненої системи регулювання від параметру k по виду її кореневого годографа.

6. Які характерні точки можна виділити по кореневому годографі?

НАСТРОЮВАННЯ СИСТЕМИ ИЗ ЗАДАНИЙ ПОКАЗНИК КОЛИВНОСТІ

Мета роботи: навчитися налаштувати систему регулювання на заданий показник коливності.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При використанні частотних методів розрахунку доцільно застосовувати частотні критерії якості, тобто такі, що не розглядають вид перехідного процесу, а базуються на деяких частотних властивостях системи. Одним з таких критеріїв є показник коливності.

Показником коливності M називають відношення максимального значення амплітудно – частотної характеристики замкненої системи A_{max} до його значення A_0 при нульовій частоті (рис. 2.1).

$$M = \frac{A_{max}}{A_0}, \quad \text{де } A_0 = A(\omega) \Big|_{(\omega=0)}. \quad (2.1)$$

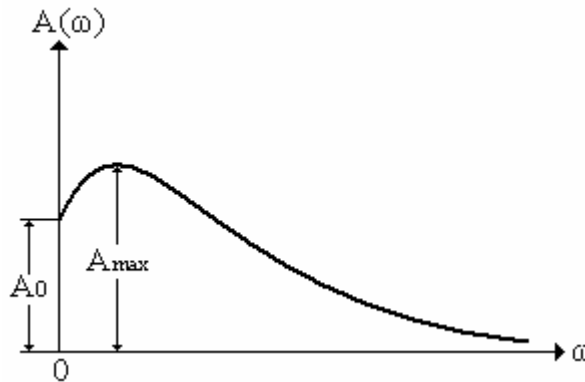


Рис. 2.1 Амплітудно – частотна характеристика системи.

Швидкодія системи зазвичай тим вища, тим більший її показник коливності M . Однак із підвищенням M зростає схильність системи до коливань, зменшується темп їхнього згасання. Тому потрібне M обирають з умови компромісу між рухливістю системи, з одного боку, і темпом згасання коливань у ній, з другого. Як правило, M задають у діапазоні між 1 (аперіодичні процеси) і 2 (відносно повільні згасаючі коливання). Після визначення бажаного M налаштування системи зводиться до забезпечення заданого M .

Система з П – регулятором, передаточна функція якого

$$W(p) = k_p. \quad (2.2)$$

де k_p - коефіцієнт підсилення регулятора, має один параметр настройки k_p .

Система з ПІ – регулятором, передаточна функція якого

$$W(p) = k_p \left[1 + \frac{1}{T_i p} \right], \quad (2.3)$$

де k_p - коефіцієнт підсилення регулятора;

T_i - час ізодрому, має два параметри настройки k_p та T_i . Але можна знайти нескінченну кількість наборів k_p і T_i . Що забезпечують заданий показник коливності M . Серед них оптимальним буде такий, що відповідатиме умові $\frac{k_p}{T_i} \rightarrow \max$.

Система з ПІД – регулятором, передаточна функція якого

$$W(p) = k_p \left[1 + \frac{1}{T_i p} + T_B p \right], \quad (2.4)$$

де k_p - коефіцієнт підсилення регулятора;

T_i - час ізодрому, T_B - час випередження, має три параметри k_p , T_i і T_B але значення $T_B / T_i = \alpha$ фіксують на певному заданому рівні, як правило, $\alpha \leq 0.5$, тому шукають лише два параметри настройки.

Настроювання на заданий показник коливності M відбувається із залученням так званих M – кіл, центр яких при $M > 1$ знаходиться на від'ємній дійсній напівосі на відстані L від початку координат

$$L = \frac{M^2}{M^2 - 1}, \quad (2.5)$$

а радіус

$$R = \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{L}{M}, \quad (2.6)$$

При $M=1$ коло перетворюється на пряму лінію, паралельну осі ординат, що проходить зліва від неї на відстані 0,5. Для значень M від 1 до ∞ можна побудувати сімейство кіл, що розміщені ліворуч від лінії $M=1$. При $M \rightarrow \infty$

коло перетворюється в точку з координатами $(-1, 0)$. Для значень $0 < M < 1$ отримуємо сімейство кіл, що розміщені праворуч від лінії $M=1$. При $M=0$ коло перетворюється в точку, розташовану в початку координат.

Система має показник коливності $M > 1$, якщо амплітудно – фазова характеристика розімкненої системи, не охоплюючи і не заходячи всередину відповідного M – кола, має з ним точку дотику. Отже, M – коло є забороненою зоною для амплітудно – фазової характеристики розімкненої системи. Ця зона включає точку $(-1, 0)$ та забезпечує заданий запас стійкості.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Об'єктом оберіть аперіодичну ланку 3-го порядку, регуляторами послідовно:

- а) П – регулятор;
- б) І – регулятор;
- в) ПІ – регулятор.

2. Задайте показник коливності $M=1.2$.

3. Побудуйте АФХ розімкненої системи та M – коло.

4. Знайдіть такі параметри регулятора, що забезпечують заданий показник коливності системи.

5. Зробіть висновки про вплив параметрів регулятора на якість настроювання системи.

6. Для системи з ПІ – регулятором знайдіть оптимальні параметри настроювання, тобто такі, що забезпечують $\frac{k_p}{T_i} \rightarrow \max$.

7. Задайте показник коливності $M=1.4$ та повторіть пп. 3 – 7.

ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт з лабораторної роботи повинен містити стислі теоретичні відомості, структурну схему системи регулювання, АФХ розімкненої системи та M – коло, параметри настройки регулятора на заданий показник коливності M , графік залежності $k_p / T_i = f(T_i)$ для системи з ПІ-регулятором, висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке показник коливності?
2. Що таке М – коло? Властивості М – кіл.
3. Як впливає зміна коефіцієнту підсилення k_p на вигляд АФХ розімкненої системи?
4. Як впливає T_i на вигляд АФХ?
5. Що забезпечує оптимальні параметри настроювання ПІ – регулятора?

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Мета роботи: виконати порівняльний аналіз результатів оптимізації системи за різними інтегральними показниками якості.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Система – та ж, що і в попередній роботі, а саме: аналоговий об'єкт, заданий масивом Ht : *Coefl* ординат його перехідної характеристики, та цифровий ПІД – регулятор з періодом квантування $Tkv = Nk \cdot Dt$, де Dt – крок за часом в масиві Ht .

У попередній роботі масив $HtsA$: *Coefl* формувався з тим же кроком Dt , що і масив Ht . Це було оправдано, оскільки при цьому інформація про перехідну характеристику системи при цьому була максимально детальною (аналоговою). Досягають це певним збільшенням часу формування масиву $HtsA$. Коли мова йшла про окремі варіанти налаштування регулятора, то проблем не виникало, оскільки клжен окремий варіант формування займає частки секунди. Але при автоматичному пошуку таких варіантів можливо доведеться перебирати сотні, а то й тисячі – і тоді економія в часі на обслуговування окремого варіанту може виявитися суттєвою.

Розглянемо образу, коли масив $HtsD$ формується з кроком $Tkv = Nk \cdot Dt$. Тоді на відрізці часу $0..D$ (L ординат в масиві Ht : *Coefl*) кроків довжиною Tkv буде $Nt := L \text{ div } Nk$.

Procedure FormHtsD;

var z,s,Zd,La,L:integer; Rs:CoefL;

 x,Eps,Epsp,Epsf,Integr,f: real;

begin

 L:=round(Ht[-1]); dt:=Ht[L+1]; Tkv:=Nk*Dt;

 Nt:=L div Nk; Rs[-1]:=Nt; Rs[Nt+1]:=Tkv; Rs[0]:=Ht[0];

 for z:=1 to Nt do Rs[z]:=Ht[z*Nk]-Ht[(z-1)*Nk];

 if Tvs='Z' then begin Zd:=1; La:=0 end

 else begin Zd:=0; La:=1 end;

 Eps:=Zd; x:=Kr*eps; Integr:=0;

 for z:=0 to Nt do Hts[z]:=Rs[z]*(x+La);

```

if Nvr in [1,2] then I:=Zd else I:=0;
z:=1;
repeat
  Epsp:=Eps; Eps:=Zd-Hts[z]; Integr:=Integr+Eps*Tkv;
  x:=Kr*(Eps+Integr/Ti+Td*(Eps-Epsp)/Tkv);
  for s:=0 to Nt-z do
    Hts[z+s]:=Hts[z+s]+Rs[s]*(x+La);
  if abs(Hts[z])>2
    then I:=500
    else
      begin
        if Tvs='Z'
          then if Eps>0 then f:=Eps else f:=R*Eps
          else if Eps>0 then f:=R*Eps else f:=Eps;
        case Nvr of
          1: I:=I+abs(f);
          2: I:=I+sqr(f);
          3: I:=I+z/Nt*abs(f);
          4: I:=I+z/Nt*sqr(f);
        end;
      end;
  inc(z);
until (z>Nt) or (I>=500);
Hts[601]:=I*Tkv;
if I>=500 then
  for s:=z to Nt do Hts[s]:=0.5;
end;

```

Пошук оптимуму E будемо вести в межах прямокутного паралелепіпеді, проекція якого на площину Ti , Kr виглядає як зображено на рисунку.

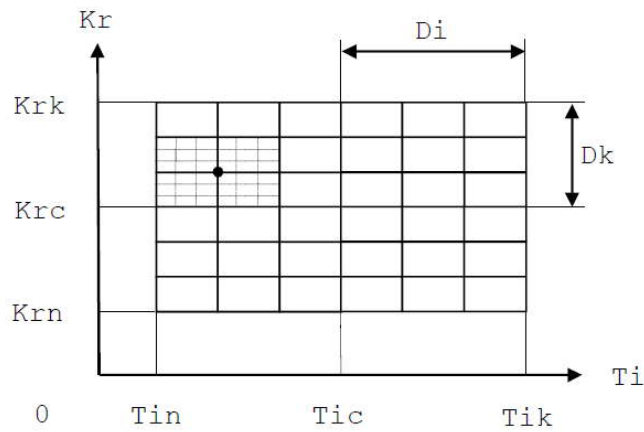


Рис.3.1. Схема пошуку оптимуму методом сканування

Робоча область пошуку в просторі Kr, Ti, Td задається крайніми (максимальними) значеннями Krk, Tik, Tdk відповідно. Мінімальні значення визначаються як $Krn=0.1 \cdot Krk$; $Tin=0.1 \cdot Tik$; $Tdn=0.1 \cdot Tdk$. Центр області для початку приймається за початкове оптимуму, після цього крок сканування (який на початку був прийнятий рівним половині розміру сторін паралелепіпеда) зменшується в k разів (k – константа типу *integer*, яку задає користувач, на рисунку показано $k=3$). Отримана таким чином сітка сканується вузол за вузлом на предмет визначення вузла з мінімальним показником якості.

Після того як, такий вузол знайдено, він приймається як черговий претендент на положення оптимуму. Кроки сканування в черговий раз зменшуються в k разів, і процес повторюється доти поки при кроці $Dk \leq Epsk$ не буде знайдено вузол з мінімальним показником якості, який і приймається за положення шукаючого оптимуму. Мала величина $Epsk$ визначається як $Epsk=Ek \cdot Krk$, де Ek – типізована константа типу *real*, задається користувачем, наприклад, $Ek=0.01$.

Знайдені («оптимальні») значення Kro, Tio, Tdo записуються відповідно з Kr, Ti, Td (глобальні параметри типу *real*).

Описаний алгоритм реалізується процедурою OptSC3

```
procedure OptSc3;
```

```
var z,s,v,w:integer; J2: char;
```

```
    dk,di,dd,Krn,Tin,Tdn,Krc, Tic,Tdc,Kro,Tio,Tdo,Epsk: real;
```

```
begin
```

```
    Krn:=0.1*Krk; Tin:=0.1*Tik; Tdn:=0.1*Tdk;
```

```

Krc:=0.55*Krk; Tic:=0.55*Tik; Tdc:=0.55*Tdk;
dk:=0.45*Krk; di:=0.45*Tik; dd:=0.45*Tdk;
Epsk:=Ek*Krk; Io:=500; w:=0; J2:='1';
PutA; Ou('0-exit');
repeat
  dk:=dk/k; di:=di/k; dd:=dd/k;
  for s:=-k to k do
    begin
      Ti:=Tic+s*di;
      if Ti<Tin then Ti:=Tin;
      if Ti>Tik then Ti:=Tik;
      for z:=-k to k do
        begin
          Kr:=Krc+z*dk;
          if Kr<Krn then Kr:=Krn;
          if Kr>Krk then Kr:=Krk;
          for v:=-k to k do
            begin
              Td:=Tdc+v*dd;
              if Td<Tdn then Td:=Tdn;
              if Td>Tdk then Td:=Tdk;
              FormHts; I:=Hts[601];
              inc(w); str(w,T10);
              clear(450,60,550,70);
              OutTextXY(450,60,'W='+T10);
              if I<Io then
                begin
                  Kro:=Kr; Tio:=Ti;
                  Tdo:=Td; Io:=I;
                end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

    end;
    Krc:=Kro; Tic:=Tio; Tdc:=Tdo;
    if KeyPressed then J2:=ReadKey;
until (Dk<=Epsk) or (J2='0');
Kr:=Kro; Ti:=Tio; Td:=Tdo; I:=Io;
Clear(450,60,550,70);
OutTextXY(450,60,'Ok');
end;

```

“Технічне обслуговування” процедури *OptSc3* бере на себе процедура *DemSc3*.

```

Procedure DemSc3;
var J1: char;
begin
    repeat
        PutA;
        Ou('0-Ex,1-Param,2-Krk,3-Tik,4-Tdk,5-OptSc3');
        Str(Krk:1:3,T10); Ts:='Krk='+T10;
        Str(Tik:1:3,T10); Ts:=Ts+',Tik='+T10;
        Str(Tdk:1:3,T10); Ts:=Ts+',Tdk='+T10;
        Info; J1:=ReadKey;
        case J1 of
            '1': Param;
            '2': Our('Krk',Krk);
            '3': Our('Tik',Tik);
            '4': Our('Tdk',Tdk);
            '5': OptSc3;
        end;
    until J1='0'
end;

```

Якщо після виходу з процедури пошуку зайти в опцію «*Nastr*», то в інтернаціональному рядку ці значення будуть виведені як *Kr*, *Ti*, *Td*. В кінці інформаційного рядка також буде виведено зміст комірки *Htsd* (601) тобто

значення відповідного показника якості (при заданих раніше Nvr та R). В цій же опції 'Nastr' можна сформувати графік перехідної характеристики системи (кольором C) окремо в опції Sc (система координат) або поверх уже раніше сформованих графіків (в опції 'h(t)s').

Розглянемо ще один (з безліч можливих) алгоритмів пошуку, а саме пошук методом найшвидшого спуску (зі стартової точки).

Пошук у даному варіанті полягає в послідовному чергуванні процесів орієнтування (вибору паралельного напрямку руху) та набутого за ним руху у вибраному напрямку.

В процесі орієнтування кожен з параметрів, що варіюється (Kr, Ti, Td) отримує приращення $\pm Dk, \pm Di, \pm Dd$ (у вкладених циклах). Для кожної з комбінацій Kr, Ti, Td визначається показник якості E (формування масиву $Htsd: Coefl$) і визначається комбінацією з найменшим значенням E . Положення цієї комбінації відносно центра і визначає найбільш перспективний напрямок руху до оптимуму.

Рух у даному напрямку виконується (покроково, з тим же кроком, що і в процесі орієнтування) доти, поки діє покращення показника E . Після цього знайдена «найкраща» точка приймається за центр чергового орієнтування і так далі, поки при черговому орієнтуванні спроба знайти перспективний напрямок не залишиться невдачею (усі перебрані точки навколо центра дадуть значення E гірші від показника E у центрі). Цей останній центр орієнтації і приймається за шуканий.

Даний алгоритм реалізує процедура *OptSt*.

Procedure OptSt;

var z,s,q,zv,sv,w:integer;

 j3:char; f,out: ображу;

 dkro,dtio,dtido,dkvo,dtvo,Io, krc,tic,tdc,kvc,tvc, kro,tio,tdo,kvo,tvo:real;

begin

 Kr:=krs; Ti:=tis; Td:=tds;

 FormHts; w:=1; Io:=Hts[601];

 kro:=Kr; tio:=Ti; tdo:=Td;

 out:=false; j3:='1';

```

puta; Ou('0-ex'); Clear(500,45,630,55);
repeat
  krc:=kro; tic:=tio; tdc:=tdo;
  f:=false; z:=-Ddk;
  repeat
    Kr:=krc+z*Dk; s:=-Ddi;
    repeat
      Ti:=tic+s*Di; q:=-Ddd;
      repeat
        Td:=tdc+q*Dd;
        FormHts; I:=Hts[601];
        inc(w); str(w,T10); Clear(550,30,630,40);
        OutTextXY(550,30,'w='+T10);
        if I<Io then
          begin
            Io:=I; f:=true;
            kro:=Kr; tio:=Ti; tdo:=Td;
            dkro:=z*Dk; dtio:=s*Di; dtdo:=q*Dd;
          end;
        if KeyPressed then j3:=Readkey;
        if j3='0' then out:=true;
        inc(q);
      until (q>Ddd) or out;
      inc(s);
    until (s>Ddi) or out;
    inc(z);
  until (z>Ddk) or out;
  Kr:=kro; Ti:=tio; Td:=tdo;
if f then
  repeat
    Kr:=Kr+dkro; Ti:=Ti+dtio; Td:=Td+dtdo;
    FormHts; I:=Hts[601]; inc(w); str(w,T10);

```

```

Clear(550,30,630,40);
OutTextXY(550,30,'w='+T10);
if I<Io then
  begin
    kro:=Kr; tio:=Ti; tdo:=Td; Io:=I;
  end;
until I>Io;
until (f=false) or out;
Kr:=kro; Ti:=tio; Td:=tdo;
Krs:=Kr; Tis:=Ti; Tds:=Td;
Clear(500,45,630,55);
OutTextXY(500,45,'Ok! Press Enter');
J3:=ReadKey;
end;

```

В даній програмі передбачена можливість в заданому наборі параметрів, що можуть варіюватись, вибору тих, які мають бути зараз, і тих, варіювання яких можна відкласти «на потім».

В даному дослідженні варіювати можуть Kr , Ti , Td . Якщо задати $Ddk=1$ параметр Kr варіювати буде, якщо ж $Ddk=0$, то він залишатиметься фіксованим на рівні Krc . Те ж відносно Ti : при $Ddi=1$ параметр Ti варіюється, при $Ddi=0$ значення $Ti=Tic$.

При $Ddd=1$ параметр Td варіюється, при $Ddd=0$ – ні.

Типізовані константи Ddk , Ddi , Ddd задаються користувачем в підпрограмі *DiffS*, в якій крім в щойно названих також задаються Dk , Di , Dd – відповідно величини кроків варіювання Kr , Ti , Td .

```

Procedure DiffS;
  var j2:char;
begin
  repeat
    PutA;
    Ou('0-ex,1-Dk,2-Di,3-Dd,4-Ddk,5-Ddi,6-Ddd');
    str(Dk:1:3,T10); Ts:='Dk='+T10;

```

```

str(Di:1:3,T10); Ts:=Ts+', Di=''+T10;
str(Dd:1:3,T10); Ts:=Ts+', Dd=''+T10;
str(Ddk,T10); Ts:=Ts+', Ddk=''+T10;
str(Ddi,T10); Ts:=Ts+', Ddi=''+T10;
str(Ddd,T10); Ts:=Ts+', Ddd=''+T10;
Info; j2:=ReadKey;
case j2 of
  '1': Our('Dk',Dk);
  '2': Our('Di',Di);
  '3': Our('Dd',Dd);
  '4': if Ddk=1 then Ddk:=0 else Ddk:=1;
  '5': if Ddi=1 then Ddi:=0 else Ddi:=1;
  '6': if Ddd=1 then Ddd:=0 else Ddd:=1;
end;
until j2='0';
end;

```

“Обслуговуванням” процедури *OptSt* займається процедура *DemSt*.

```

Procedure DemSt;
  var j1:char;
begin
  repeat
    PutA;
    Ou('0-ex,1-Param,2-Diffs,3-Krs,4-Tis,5-Tds,
      6-OptSt');
    str(Krs:1:2,T10); Ts:='Krs'+T10;
    str(Tis:1:2,T10); Ts:=Ts+', Tis'+T10;
    str(Tds:1:2,T10); Ts:=Ts+', Tds'+T10;
    Info; j1:=ReadKey;
    case j1 of
      '1': Param;
      '2': Diffs;
      '3': Our('Krs',Krs);

```

```

    '4': Our('Tis',Tis);
    '5': Our('Tds',Tds);
    '6': OptSt;
end;
until j1='0';
end;

```

Після обслуговування опції '6-OptSt' знайдені значення Kr , Ti , Td можна «побачити» вийшовши з *DemSt* та зайшовши в опцію '1-Nastr' модуля *OptHtd*. В інформаційному рядку опції '1-Nastr' з'являться значення Kr , Ti , Td (знайдені в *OptSt*). Там же можна подивитись відповідний графік перехідної характеристики системи.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Програму *DemOptHd*.
2. Формуємо графік перехідної характеристики об'єкта.
3. В опції '2-Opt' знайти (в '1-Nastr') настройку регулятора, при яких замкнена система є стійкою.
4. В опціях '3-Dsc2' та '4-Dsc3' знайти отримані настройки ПІ- та ПІД-регуляторів.
5. Оцінити (шляхом накладення графіків перехідних характеристик системи) залежність цих графіків від Nvr та R .
6. Повторити п. 4, 5 реалізуючи пошук оптимуму методом найшвидшого спуску. Повторити пошук з різних стартових точок.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Обґрунтувати теорію пошуку оптимуму методом сканування та оцінити вплив k та Ek на результат пошуку.
2. Обґрунтувати алгоритм оптимізації методом найшвидшого спуску.
3. Порівняти «оптимальні» перехідні характеристики отримані при різних Nvr та R .
4. Порівняти алгоритм пошуку методом сканування та найшвидшого спуску.

РОЗРАХУНОК КАСКАДНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ.

Мета роботи: навчитися налаштувати каскадну систему регулювання.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Каскадні системи використовуються в ситуаціях, коли в об'єкті керування можна створити допоміжний контур керування інерційність якого значно нижче інерційності основного контуру. Стабілізація допоміжного контура дозволяє усунути або, принаймні, значно ослабити вплив збурень на основну регульовану величину, якщо на ці збурення оперативно реагує – допоміжна (проміжна) регульована величина, і стабілізація проміжної величини супроводжується зниженням впливу розгляненого збурення на основну величину.

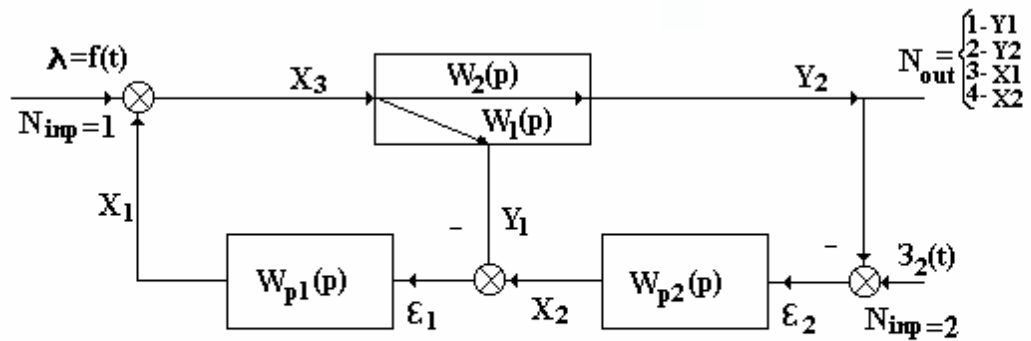


Рис.1 Схема каскадного регулювання

Розглянемо таку схему каскадного регулювання.

Тут y_1 - проміжна регульована величина, Y_2 - основна. Регулятор $W_{p1}(p)$ називається стабілізуючим (допоміжним), регулятор $W_{p2}(p)$ - коригуючим (основним).

Канал $W_1(p)$ в об'єкті керування характеризує поведінку проміжної регульованої величини y_1 , канал $W_2(p)$ - поведінку основної регульованої величини Y_2 .

З усіх можливих вхідних сигналів системи обмежимося розглядом сигналу $\lambda=f(t)$, що поступає регулюючому впливу X_1 , та сигналу $z_2(t)$ -

завдання коригуючому регулятору. Будемо вважати, що передаточні функції каналів $W_1(p)$ та $W_2(p)$ мають вигляд:

$$W_1(p) = \frac{B_1(p)}{A_1(p)} e^{-p\tau_1}, \quad (4.1)$$

$$W_2(p) = \frac{B_2(p)}{A_2(p)} e^{-p\tau_2} \quad (4.2)$$

Власне кажучи, оскільки канали $W_1(p)$ та $W_2(p)$ належать одному і тому ж об'єкту керування, то доцільно було б привести обидві передаточні функції до спільного знаменника, коли б $A_1(p) = A_2(p)$, але для узагальнення підходу ми на цьому не наполягаємо.

Якщо вважати, що еквівалентним об'єктом для регулятора є вся система за виключенням цього регулятора, то, як легко бачити:

$$W_{e1}(p) = W_1(p) + W_2(p) \cdot W_{p2}(p), \quad (4.3)$$

$$W_{e2}(p) = \frac{W_2(p) \cdot W_{p2}(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{p1}(p)}. \quad (4.4)$$

Структури регуляторів $W_{p1}(p)$ та $W_{p2}(p)$ вважаємо відомими (заданими), завдання полягає у визначенні їх параметрів настройки. Коли вважати, що, як мінімум, кожен регулятор реалізує ПІ-закон, то вже матимемо 4 параметри настройки, а при використанні диференціальних складових в тому чи іншому або й в обох регуляторах, то кількість параметрів настройки, які треба визначити, буде уже більше чотирьох (п'ять або шість). Пошук оптимуму функції такої кількості незалежних змінних створює певні проблеми. Будемо шукати розв'язок ітераційним шляхом, оптимізуючи по черзі кожен з регуляторів вважаючи настройку іншого на цій ітерації фіксованою (знайденою на попередній ітерації). Ітераційний пошук будемо зупиняти, коли на черговій ітерації одержана настройка розгляданого регулятора буде несуттєво відрізнятися від її попереднього значення; вважаємо, що ітераційний пошук буде сходиться.

Оптимальною будемо вважати таку настройку регулятора, яка забезпечує заданий показник коливності замкненої системи. Оскільки для кожного з регуляторів вимоги до показників перехідних процесів можуть

виявитись різними, передбачимо різні показники коливності M_{k1} та M_{k2} для різних контурів регулювання.

Розрахунок контуру регулювання будемо виконувати шляхом підбору таких параметрів регулятора в стабілізуючому контурі, які забезпечують дотикання (без охоплення та заходу в область, обмежену відповідним M -колом) годографа амплітудно-фазової характеристики розімкненого контуру до M -кола.

Для узагальнення будемо вважати, що регулятор описується передаточними функціями:

$$W_{p1}(p) = k_{reg1} \left(1 + \frac{1}{T_{i1}p} + T_{v1}p \right), \quad (4.5)$$

$$W_{p2}(p) = k_{reg2} \left(1 + \frac{1}{T_{i2}p} + T_{v2}p \right). \quad (4.4)$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Завантажити програму *Cascad*.
2. Налаштувати контур корекції на показник коливності $M_{k1}=1.2$ ($W_1(p)=0$, $W_{p1}(p)=0$).
3. Побудувати перехідний процес замкненої системи ($N_{out}=1$).
4. Перенести в протокол результати (графіки, годографи).
5. Змінити N_{inp} на 2 та повторити пп. 3.
6. Повторити настройку контура стабілізації приймаючи настройку контура корекції, отриману в п.2.
7. Побудувати графік перехідного процесу ($N_{out}=2$, $N_{inp}=1$).
8. Повторити настройку контура корекції приймаючи настройку контура стабілізації, отриману в п.6.
9. Побудувати графік перехідного процесу ($N_{out}=2$, $N_{inp}=1$).
10. Якщо настройка контура корекції суттєво відрізняється від попередньої, то повернутися до п.6.

Звіт повинен містити : теоретичні відомості, результати пп. 2-10.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які системи називають каскадними ?
2. Як впливає значення N_{inr} на якість перехідного процесу ?
3. Що таке контур корекції ?
4. Що таке контур стабілізації ?

МЕТОД ФАЗОВОГО ПРОСТОРУ

Мета роботи: навчитися будувати фазовий портрет системи.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Досі ми досліджували автоматичні системи у лінійному наближенні, тобто вважали, що усі елементи системи описуються лінійними математичними моделями. Динамічні характеристики проявляються в тому, що відповідні диференціальні рівняння стають нелінійними, статичні характеристики – це нелінійна залежність між входом та виходом статичного (динамічного) елемента. Єдиної теорії динаміки нелінійних систем не існує, і швидше всього ніколи не буде створено у повному обсязі, враховуючи нескінченну різноманітність нелінійностей та їх комбінацій, також задач, які стоять перед дослідником. Одним з перших методів дослідження динаміки нелінійних систем був метод фазового простору.

Стан системи з зосередженими параметрами n -го порядку однозначно задається її n параметрами стану (наприклад, значенням її вихідної величини та $(n-1)$ найближчих похідних). Створимо систему координат вздовж осей якої будемо відкладати параметри стану системи. Це буде так званий фазовий простір системи. Стан системи в даний (фіксований) момент часу буде відтворюватись у фазовому просторі точкою – назовемо її зображуючою. При зміні стану системи її точка буде рухатись у фазовому просторі. Її траєкторія – фазова траєкторія. Сукупність усіх можливих фазових траєкторій для системи – це її фазовий портрет. Як додатковий вимір можна було б додати збурюючий чинник (вхід), але при збільшенні розмірності фазового простору погіршується наочність фазових портретів – тому у фазовому просторі, як правило, прийнято досліджувати вільний рух системи. При $n=2$ фазовий простір вироджується в так звану фазову площину.

На фазовій площині частіше всього (але зовсім не обов'язково!) віддають перевагу системі координат з осями y (по горизонталі) то y' (по вертикалі) – рис. 5.1.

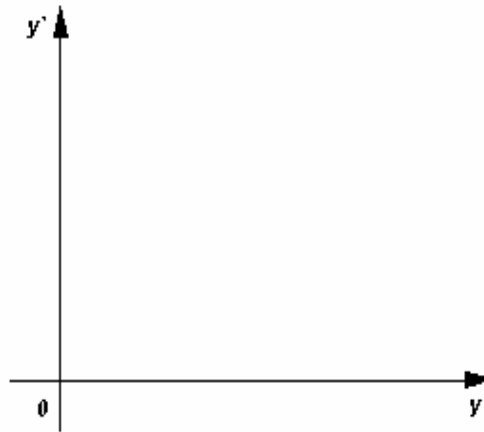


Рис. 5.1. Система координат для фазової площини. Траєкторій з віссю y дотичні до фазових траєкторій направлені вертикально.

Данна система координат має такі очевидні властивості:

- а) фазові траєкторії, як правило, не перетинаються;
- б) у верхній півплощині зображуючи точка рухається зліва направо, у нижній – справа наліво;
- в) у точках перетину фазових.

Особливі точки – це такі точки, для яких не виконується властивість а), це точки рівноваги.

Особливі точки класифікуються за характером поведінки фазових траєкторій в їх найближчому оточенні. Іншими словами, в області невеликих відхилень (прирощень) від розгляданого положення рівноваги. Припустимо, що нелінійна система піддається лінеаризації в околі даної точки. Тоді лінеаризовану модель – диференціальне рівняння вільного руху системи (справедливе при малих відхиленнях) можна представити так

$$a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = 0 \quad (5.1)$$

при початкових умовах $y|_{t=0} = y_0$, $y'|_{t=0} = y_0'$.

Диференціальному рівнянню (5.1) відповідає характеристичне рівняння

$$a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0 \quad (5.2)$$

корені якого визначаються за формулою

$$p_{1,2} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2}. \quad (5.3)$$

Можливі такі варіанти (в залежності від значення дискримінанта $d = a_1^2 - 4a_2a_0$) :

1. $a_1^2 - 4a_2a_0 > 0$. Тоді $p_1 \neq p_2$ -- корені дійсні різні (прості).
2. $a_1^2 - 4a_2a_0 = 0$. Отже, $p_1 = p_2 = \frac{-a_1}{2a_2}$ – корені характеристичного

рівняння дійсні і рівні (кратні)

3. $a_1^2 - 4a_2a_0 < 0$ – корені комплексні спряжені,
4. $a_1 = 0$, – корені уявні

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Завантажити програму *FazPort*.
2. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу стійкий вузол (корені різні).
3. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу нестійкий вузол (корені різні).
4. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу стійкий вузол (корені однакові).
5. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу нестійкий вузол (корені однакові).
6. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу стійкий фокус.
7. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу нестійкий фокус.
8. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу сідло.
9. Побудувати фазовий портрет системи з особливою точкою типу центр.

Звіт повинен містити : теоретичні відомості, результати пп. 2-9.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке фазовий портрет системи?
2. Яку точку називають стійкий (нестійкий) вузол?
3. Яку точку називають стійкий (нестійкий) фокус ?
4. Яку точку називають сідло ?
5. Яку точку називають центр?

ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМАХ

Мета роботи: відпрацювати алгоритми розрахунку перехідних процесів в системах з нелінійними регуляторами.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Методи дослідження динамічних систем були вигадані розроблені, щоб не розраховувати перехідні процеси в системі. Але ж зараз набагато простіше за допомогою комп'ютера будувати графіки перехідних процесів, демонструвати їх досліднику чи аналізувати і робити відповідні висновки самостійно. Обмежимося першою частиною задачі, а саме – розрахунком реакції нелінійної системи на заданий вхідний сигнал з представленням цієї реакції у вигляді графіка.

Реакція нелінійної системи на одиничний ступінчатий вхідний сигнал (перехідна характеристика) не є показовою. В нелінійній системі реакція на “маленьку одиничку” і на велику “одиничку” можуть суттєво відрізнятись не лише за масштабом, але і за формою. “Одиничка” тут уже не така безрозмірна, як у лінійних системах. Тому, конкретний вид і масштаб вхідного сигналу дослідник має задавати з урахуванням конкретних можливостей функціонування досліджуваної фізичної системи.

Для прикладу розглянемо систему, структура якої показана на рис.6.1

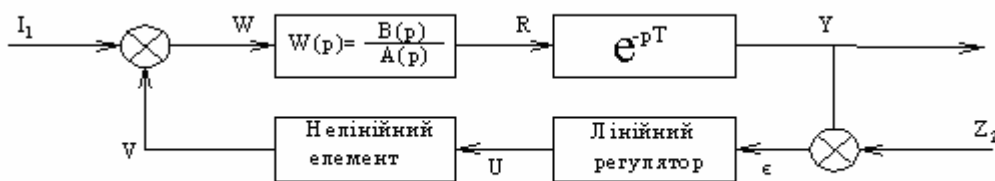


Рис. 6.1. Розрахункова схема нелінійної системи.

Часто не лінійність проявляється у виконавчому механізмі чи регулюючому органі регулятора, який (за винятком цього елемента) сам по собі можна розглядати як лінійний. І в цій ситуації нелінійний елемент якраз і реалізує вказану не лінійність. Можлива і інша ситуація – нелінійний елемент виконує функцію регулятора, ну тоді у лінійному регуляторі встановлюємо $Nzr=1$, $Kr=1$ - і він буде простим ретранслятором сигналу ϵ

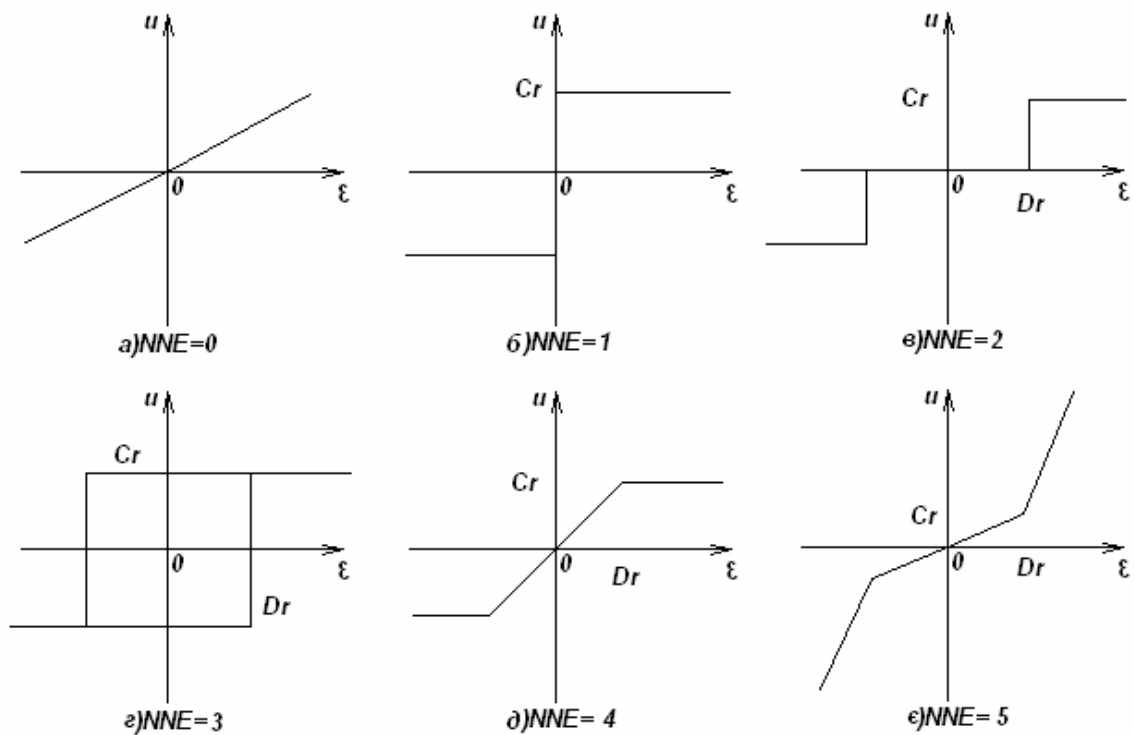
(розузгодження) на вхід нелінійного регулятора Як зовнішні впливи розглядаємо збурення та зміну завдання регулятору (цікавлячі дослідника функції часу).

Алгоритм моделювання в часі лінійного об'єкта з дробово-раціональною передатною функцією, ланки транспортного запізнювання, лінійного регулятора і нелінійного елемента нами детально розглядалось раніше. Об'єднати усе це в єдину програму – “справа техніки”. Сподіваємось, що шановний читач уже “дозрів” до цього.

Перехідні процеси в нелінійній системі дозволяє будувати програма *PPNS*.

Час спостереження перехідного процесу D розбивається на L кроків довжиною $Df=D/L$, а робочий крок інтегрування $V0$ отримуємо шляхом подрібнення кроку ks разів $V0=Df/ks$. Стан дробово-раціональної частини об'єкта керування характеризується масивом $MU:Coef$, крок за часом – методом Ейлера з використанням модифікованої системи заміщення. Запізнювання Tau моделюється за допомогою масиву Mz . Лінійний регулятор задається параметрами $Nzr:integer$ (номер закону регулювання), $Kreg, Ti, Td$ -параметри регулятора. Нелінійний елемент реалізує ряд типів нелінійних елементів, що характеризується NNE (номер нелінійного елемента) а саме:

$NNE=0$ – лінійний елемент, $NNE=1$ – ідеальне реле, $NNE=2$ – реле з зоною нечутливості, $NNE=3$ – реле з зоною неоднозначності, $NNE=4$ – лінійна характеристика з насиченням, $NNE=5$ – регулятор зі змінним коефіцієнтом передачі, $NNE=6$ – квадратичний регулятор.



В якості вхідного сигналу вибирається або сигнал $Z1$ ($Ninp=2$) або $Z2$ ($Ninp=2$). Тут $Ninp:integer$ - глобальна типізована константа (номер вхідного сигналу) Закон зміни вхідного сигналу в функції часу визначається Nvr (номер варіанту – типізована константа типу $integer$).

В програмі задіяні такі варіанти:

$Nvr=1$ - вхід – ступінчастий висотою Az

$Nvr=2$ – вхід – прямокутний імпульс висотою Az , але тривалістю Dz

$Nvr=3$ – вхід – синусоїда амплітудою Az , частотою Wz .

Варіант 2 призначений у першу чергу для того, щоб вивести систему з рівноваги, щоб потім спостерігати її вільний рух (при $t > Dz$).

Як вихідний сигнал можна розглядати або сигнал y ($Nopt=1$), або ϵ ($Nopt=2$), або u ($Nopt=3$), або v ($Nopt=4$)

Зміна в часі замовленого вихідного сигналу в масиві $Mo:coef$, який потім після автоматичного масштабування відображується на екрані монітора у вигляді графіка (в функції часу t).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Завантажити програму *PPNS*.
2. Обрати тип нелінійного елемента $NNE=0$.
3. Побудувати перехідний процес системи з відповідним нелінійним елементом
4. Повторити п. 3 для $NNE=1 - 6$.

Звіт повинен містити : теоретичні відомості, результати пп. 3-4.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які регулятори називають не лінійними ?
2. Які є типи нелінійних елементів?
3. Основні складові розрахункової схеми нелінійної системи.

Програма TarWrTau призначена для побудови перехідних, частотних характеристик, визначення коренів характеристичних рівнянь на комплексній площині тощо.

Верхній рядок екрану – головне меню програми.

ESC – вихід; 1-Inp – введення об'єкту, 2-DemOb – побудова перехідної, імпульсної та частотної характеристик; 3-Stab – дослідження стійкості системи; 4-kGod – кореневі годографи; 5-Nastr – настройка системи на заданий показник коливності M_k ; 6-NastA – настройка системи, з умовою апроксимації запізнення; 7-PPS – перехідні процеси замкненої сітки графіка.

Зупинимося на кожному пункті окремо.

1-Inp.

0- exit – вихід з підменю;

1-B(p) – введення полінома чисельника, при натисканні на клавішу «1» іде запит степені чисельника : "Enter N –stepen polynoma B", треба ввести степінь і натиснути „Enter” (надалі кожне введення значення підтверджується натисканням „Enter”). Наступний запит : „enter B[]”- елемент (відповідний коефіцієнт) поліному, наприклад : „enter B[2]” вказує на елемент b_2 .

2-A(p) – введення полінома знаменника, аналогічно вище описаному.

3-ChainZv – необхідно для зручнішого введення ланцюжно-періодичних ланок;

0- exit- вихід із під меню;

1-Kob – коефіцієнт підсилення об'єкту;

2-q – степінь вільного множника p у знаменнику;

3-R – кількість ланок;

4-TN – через пробіл вводиться стала часу T_s та n - степінь n_s . в загальному виді передатна функція ланцюжно- аперіодичних ланок має

вигляд:
$$W(p) = \frac{Kob}{p^q (T_1 p + 1)^{n_1} \cdot (T_2 p + 1)^{n_2} \dots (T_R p + 1)^{n_R}}$$

В попередньому меню 4-Tau – час запізнювання τ .

В нижньому рядку екрана знаходиться інформація про те, чому дорівнює значення змінних, згадуваних у поточному меню.

2-DemOb

1-W(p) – виводить інформацію про коефіцієнти чисельника, знаменника та запізнювання.

2-h(t) – побудова перехідної характеристики об'єкта : 0-exit – вихід з-під меню; 1-D – час спостереження; 2-Ks – коефіцієнт подрібнення кроку; 3-Saz – спосіб апроксимації запізнення; 4-n – порядок структури, що апроксимує ланку транспортного запізнення; 5-c – колір графіка; 6-SC – система координат і графік; 7-Graphic – побудова графіку в цій же системі координат (надалі покладено такий самий принцип : система координат, графіки в одній і тій же самій системі координат; система координат-оновлення);

3-g(t) – побудова імпульсної характеристики, аналогічно 2 – h(t).

4-W(j ω) – побудова АФХ.

1-wn; 2-wk – початкове і кінцеве значення частоти ω (в програмі ω імітується літерою w).

3-NSC – кількість кроків сканування;

4, 5- описані вище;

6-c – колір;

7-SC – система координат (без побудови графіка);

8-godo – побудова годографа АФХ об'єкта.

9-IndW –

1-W – крок по АФХ;

2-C – колір;

3-Point – побудова точок по АФХ;

4-Inscrt – підписи;

3-Stab – стійкість системи по критерію Гурвиця, Михайлова і Найквіста.

3-Nzr – номер закону регулювання, тобто вибір регулятора.

Nzr	Регулятор	W(p)- регулятора
-----	-----------	------------------

1	П – регулятор	$W_p(p) = K_{reg}$;
2	I – регулятор	$W_p(p) = K_{reg} / p$;
3	ПД – регулятор	$W_p(p) = K_{reg} (1 + T_v \cdot p)$
4	ПІ – регулятор	$W_p(p) = K_{reg} (1 + \frac{1}{T_i \cdot p})$
5	ПІД - регулятор	$W_p(p) = K_{reg} (1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_v \cdot p)$

4- K_{reg} – параметр настройки регулятора, коефіцієнт підсилення;

5- T_i – час ізодрому (інтегральна складова);

6- T_v – час випередження (диференціальна складова);

7- Roots – корені характеристичного рівняння;

8- Mic – побудова годографа Михайлова;

4- $GodMic$ (в підменю, інші пункти розглядалися вище);

9- $Naiq$

4- $Naiq$ (в підменю)- критерій стійкості по Найквісту;

4- $KGog$ – кореневі годографи;

1-Reg – вибір регулятора та параметрів настройки,

2- KrN ; 3- KrK – початкове і кінцеве значення параметру K_{reg} ;

4- NK – крок подрібнення;

5- $ApTau$ – апроксимація запізнення;

6- c – колір;

7- SC – система координат;

8- $Godo$ – кореневий годограф.

5- $NsrM$ – настройки на заданий показник коливності.

7- Mk – показник коливності (всі попередні пункти підменю вже описувалися і суть їх не змінилася).

A- $Godo$ – побудова годографа АФХ розімкненої системи і М- кола.

6- $NastA$ – в курс не входить, немає сенсу описувати дій.

7- PPS – перехідні характеристики замкнених систем;

3- Nzr – номер закону регулювання;

8-SC – побудова системи координат з лінією усталеного значення ($y=1$), та першого графіка, надалі зі зміною параметрів настройки регулятора (пп.. 4-6) виводяться графіки перехідних процесів;

9-Graphic – побудова графіка перехідного процесу з врахуванням нових параметрів настройки регулятора, у вже існуючу систему координат, для співставлення з попереднім графіком.

Звертаємо увагу на те, що встановлені параметри регулятора, способи апроксимації запізнення, та сам тип регулятора зберігаються при переході від одного пункту меню до іншого і змінюється лише за умови зміни на інші або виходу з програми (тоді при подальшому вході встановлюються за замовчанням).

Слід зазначити, також, що і об'єкт, який був введений при вході зникає і треба вводити знову.

Додаток 2

Програма FazPort призначена для побудови на фазовій площині $y-u'$ фазового портрету системи.

Основне меню програми складається з :

ESC- ex (вихід); 0- InpD (коефіцієнти полінома 1- $a_0:a_0$; 2- $a_1:a_1$; 3- $a_2:a_2$; 4-D- час спостереження).

1- X_{max} ; 2- Y_{max} – максимальні значення X та Y відповідно.

3- X_{t0} ; 4- Y_{t0} – значення параметрів стану системи; 5- SC – система координат, координатна сітка і т. д.

Зупинимося на п. 7 – Godo – це побудова годографу руху точки (фазова траєкторія).

При натисканні п.7 фазова траєкторія домальовується до вже існуючої, на системі координат.

При натисканні п. 5- SC, оновлюється малюнок і всі старі побудови зникають (стираються).

Зафіксувавши один параметр стану (наприклад) x_{t0} змінюють інший (відповідно y_{t0}) і після кожної зміни формують годограф – натискаючи клавішу 7.

Отримане сімейство кривих являє собою фазовий портрет системи.

Призначена Cascad для дослідження каскадної системи автоматичного регулювання.

Основне меню складається з :

Esc-exit – вихід; 1- B1 – поліном чисельника $W_1(p)$; 2- A1 – поліном знаменник $W_2(p)$; 3- Tau1- запізнення першої ланки; 4- B2; 5- A2; 6- Tau2 – відповідні параметри другої ланки; 8- Nast – настройка системи на заданий показник коливності; 9- h(t) – побудова перехідного процесу системи.

1-B1 – іде запит „enter n-degr of polynom B1”, степінь полінома при виборі степеня „enter B[]”- запит на відповідний елемент (коефіцієнт полінома).

2-A1; 4-B2; 5-A2 – відповідно до 1-B1.

3-Tau1; 6-Tau2 – введення запізнення.

7-Nr –

8- Nast – настройка системи на заданий показник коливності :

1-Diap(1-Wn; 2- Wk; 3- Nsc) – початкове значення, кінцеве значення частоти ω та кількість кроків сканування;

2-Nzr1- номер закону регулювання для стабілізуючого регулятора;

3-Kr1; 4-Ti1; 5-Td1 – параметри настройки 1- го регулятора;

6-Mk1 – показник коливності для контура стабілізації;

7-SC – система координат;

8-C – колір;

9-Godo – M-коло і АФХ розімкненої системи.

9- h(t) – побудова перехідного процесу системи :

1-D – час спостереження;

2-KS – коефіцієнт подрібнення кроку;

3-Ninp; 4-Nout – номери входу і виходу;

5-Reg- регулятори (1-Nzr1, 2-Nzr2 – типи регуляторів та параметри настройки (3-Kr1; 4-Ti1; 5-Td1; 6-Kr2; 7-Ti2; 8-Td2));

6-SC – система координат;

7-c – колір;

8-h(t) – побудова графіка перехідного процесу системи;

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗА ЛАПЛАСОМ ФУНКЦІЇ ЧАСУ

№ п/п	Оригінал $f(t)$	Перетворення Лапласа $f(p)$
1	$1(t)$	$1/p$
2	t	$1/p^2$
3	$1/2t^2$	$1/p^3$
4	$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{p+\alpha}$
5	$1 - e^{-\alpha t}$	$\frac{\alpha}{p(p+\alpha)}$
6	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
7	$\cos \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. –М. : Наука, главная редакция физико – математической литературы, 1978. -768с.
2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М. : Машиностроение, 1974.-327с.
3. Зайцев Г. Ф., Костюк В. И., Чинаев П. И. Основы автоматического управления и регулирования. – К.: Техника, 1975.-496с.
4. Кубрак А.І., Ярощук Л.Д. Програмування та розрахунок автоматичних систем. – К.: Вища школа, 1992.-366с. : іл.
5. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. –М.: Энергия, 1973.- 4