Міністерство освіти і науки України

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Кафедра Автоматики та електроприводу

Курсова робота на тему:

**Розрахунок слідкуючої системи**

Зміст

1. Принцип дії системи

2. Диференційне рівняння розімкненої та замкненої систем

3. Передавальні функції САК

4. Структурна схема системи

5. Граничний коефіцієнт підсилення системи

6. Вибір коефіцієнта підсилення електронного підсилювача

7. Точність керування

8. Побудова характеристик

9. Корегування слідкуючої системи

10. Передавальні функції окремих елементів корегованої системи

11. Усталена похибка корегованої системи

12. Логарифмічні характеристики розімкненої корегованої системи

12.1 Логарифмічно-частотні характеристики

12.2 Перехідна функція замкненої корегованої системи

Література

1. Принцип дії системи

Система автоматичного керування (САК) складається з наступних елементів:

* 1. Вхідний потенціометричний пристрій (КО).
  2. Елемент порівняння (суматор)
  3. Електронний підсилювач (>)
  4. Тиристорний перетворювач (ТП)
  5. Двигун постійного струму (Д)
  6. Редуктор (РЕД)
  7. Робочий механізм (РМ)
  8. Вихідний потенціометричний пристрій.

На вхід системи подається кут α, величина якого регулюється, який через потенціометр перетворюється у змінну напругу і поступає на один вхід елемента порівняння. На інший, інверсний, вхід поступає вихідний кут β , перетворений вихідним потенціометром у напругу. На виході суматора маємо напругу **U0 = Кв⋅(α – β)** , яка збільшується електронним підсилювачем до значення **Un = Kгр ⋅U0 ,** що потрапляє на тиристорний перетворювач, який виробляє керуючу напругу на виконавчий двигун **Д** . Двигун перетворює енергію напруги **UД** у кінематичну енергію обертання вала, яка через редуктор РЕД іде на робочий механізм РМ звідки вихідне значення кута β через потенціометр подається на елемент порівняння.

Таким чином САК на основі принципу відхилення забезпечує стабілізацію вхідного кута α і підтримує **β = α** .

Запишемо диференційні рівняння для окремих елементів системи:

1. Елемент порівняння: Uвих = U0 = Uвх1 – Uвх2 = Kв ⋅α – Kв ⋅β = Кв⋅(α – β) , маємо

U0 = Кв⋅(α – β)

Електронний підсилювач: Uвих = Uп = Кгр ⋅U0 ;

де Кв – граничний коефіцієнт підсилення електронного підсилювача.

1. Тиристорний перетворювач. З урахуванням інерційності СІФК диференційні рівняння перетворювача має вигляд:

Uд ⋅(Тпр + 1) = Кп ⋅Uп.

1. Двигун постійного струму. Для складання диференційних рівнянь ДПС зробимо ряд припущень:

а) система абсолютно жорстка, тобто двигун має одну ступінь свободи;

б) статичний момент, приведений до вала двигуна, - постійний;

в) маса рухомих частин системи постійна;

г) реакція якоря – скомпенсована;

д) залежність кутової швидкості обертання вала двигуна від напруги якоря Uя – лінійна.

Е) потік двигуна постійний Ф = const.

Є) температура обмоток стала.

Із урахуванням припущень отримаємо рівняння роботи ДПС

(1) (2) (3)



(4)



Підставивши (2) і (3) в (1) матимемо: (5)



Підставивши (2) і (3) в (1) матимемо:

(6)



Введемо такі позначення:

– електромеханічна стала часу двигуна; (7)



– електромагнітна стала часу якоря;(8)



– коефіцієнт передачі двигуна по напрузі;(9)



– коефіцієнт передачі по збурюючому моменту. 10)



Підставляємо прийняті співвідношення в (6) і одержуємо:

(11)



Після перетворення Лапласа одержуємо:

(12)



Відомо, що індуктивність якоря – незначна (менша 0,0001 Гн). Опір Rя=2÷10 Ом. Враховуючи це електромагнітна стала часу якоря . Отже нею можна знехтувати: Тя ≈ 0.



Знаходимо передаточні функції двигуна:

(13) (14)



Для вихідних систем по куту маємо Ω(р) = ϕ(р) ⋅ р



(15) (16)



Редуктор. Здійснює без інерційне пропорційне перетворення частоти обертання (кута) β = Кред ⋅ ϕ .

**2. Диференційне рівняння розімкненої та замкненої систем**

Для розімкненої САК маємо систему диференційних рівнянь, що описують окремі елементи САК:

U0 = Кв⋅α

Uп = Кгр⋅U0

Uд ⋅(Тпр + 1) = Кп ⋅Uп (17)

ϕ ⋅ р(Тмр+1) = Кд ⋅ Uд

β = Кред ⋅ ϕ

Розв”язуючи систему (17) отримаємо диференційне рівняння розімкненої не корегованої системи:**р⋅(Тмр+1) ⋅( Тпр + 1)⋅β = К⋅α**

Де - К = Кв⋅Кгр⋅Кп⋅Кд⋅Кред .

Підставляючи числа отримаємо: К = 12⋅Кгр⋅8⋅2,2⋅0,001 = 0,21⋅Кгр

**р⋅(0,35р+1) ⋅(0,016р + 1)⋅β =0,21·Кгр⋅α**

Для замкненої САК маємо систему диференційних рівнянь, що описують окремі елементи САК:

U0 = Кв⋅(α – β)

Uп = Кгр⋅U0

Uд ⋅(Тпр + 1) = Кп ⋅Uп (18)

ϕ ⋅ р(Тмр+1) = Кд ⋅ Uд

β = Кред ⋅ ϕ

Розв”язуючи систему (17) отримаємо диференційне рівняння розімкненої не корегованої системи:**р⋅(Тмр+1) ⋅( Тпр + 1)⋅β + К⋅β = К⋅α**

Підставляючи числа отримаємо:

р⋅(0,35р+1) ⋅(0,016р + 1)⋅β + 0,21⋅Кгр⋅β =0,21Кгр⋅α

**Для похибки замкненої САК використовуємо систему диференційних рівнянь (18), враховуючи, що ε = α - β =>β = α – ε.**

Р⋅(Тмр+1) ⋅( Тпр + 1)⋅( α – ε) + К ⋅ ( α – ε) = К⋅α

р⋅(Тмр+1) ⋅( Тпр + 1)⋅ ε + К⋅ε = р⋅(Тмр+1) ⋅( Тпр + 1) ⋅ α

Підставляючи числа отримаємо:

р⋅(0,35р+1) ⋅(0,016р + 1) ⋅ ε + К ⋅ ε = р⋅(0,35р+1) ⋅(0,016р + 1) ⋅ α

**3. Передавальні функції САК**

Передавальні функції розімкненої САК та замкненої САК відносно завдання, похибки та збурення знаходимо з відповідних диференційних рівнянь.

1. Передавальна функція розімкненої системи:



1. Передавальна функція замкненої системи відносно завдання:



1. Передавальна функція для похибки замкненої системи:



1. Передавальна функція замкненої системи відносно збурення:



5. Структурна (алгоритмічна) схема системи (Рис 1.)

4. **Структурна (алгоритмічна) схема системи**



Кв⋅Кгр



Кред

**5. Граничний коефіцієнт підсилення**

Визначаємо граничний коефіцієнт підсилення не корегованої замкненої системи. Запишемо характеристичне рівняння САК:

ТмТпр3 + (Тм + Тп)⋅р3 + р + К = 0

0,0056р3 + 0,366р2 + р + 0,21Кгр = 0

Для стійкості необхідно виконання двох умов :

* Правило Стодоли : щоб усі три корені були додатніми, ця умова виконується.
* Критерій Гурвіца : для кубічного рівняння а1⋅а2 – а0⋅а3 > 0

(Тм + Тп)⋅1 > ТмТп⋅Kг=>



Отже Кг < 65.357

**6. Вибір коефіцієнта підсилення електронного підсилювача**

З умови, що запас стійкості має лежати в межах 2÷3 коефіцієнт підсилення дорівнює

К= Кг / 2,5 = 65.357/2,5 = 26,14

Приймаємо К = 26

Тоді коефіцієнт електронного підсилювача дорівнює:

Кгр = 26/0,21 = 123,8

**7. Точність керування**

Як відомо з курсу Теорії автоматичного керування усталена похибка слідкуючої системи дорівнює:



Де α0 , f0 – усталені значення завдання і збурення відповідно.

Оскільки ми не маємо даних стосовно збурю вальної дії Мс то ми нехтуємо другим доданком. Отже усталена похибка нашої САК дорівнює:



Отже робимо висновок, що система задовольняє необхідній точності.

**8. Побудова характеристик**

* 1. Перехідна функція замкненої системи h(t)

Маємо α = 1/р тоді



Запишемо характеристичне рівняння системи :

0,0056р3 + 0,366р2 + р + 26 = 0 (19)

За допомогою ЕОМ знаходимо корені рівняння (19):

р1 = -63,698;

р2 = -0,829-8,497j;

р3 = -0,829+8,497j.

Далі для знаходження оригіналу h(t) скористаємося другою теоремою Хевісайда , суть якої в наступному : якщо зображення F(p) функції f(t) має вигляд

;



то її оригінал дорівнює



де pk – корені характеристичного рівняння.

В нашому випадку F1(p) = 26;

F2(p) = 0,0056р3 + 0,366р2 + р + 26;

F’2(р) = 0,0168р2 + 0,732р + 1.

Знайдемо значення F’2(рк) , де pk – корені характеристичного рівняння.

F’2(р1) = 0,0168(-63,698)2 + 0,356(-63,698) + 1 = 22,538

F’2(р2) = 0,0168(-0,829-8,497j)2 + 0, 356(-0,829-8,497j) + 1 = 6,037е -97,7j

F’2(р3) = 0,0168(-0,829+8,497j)2 + 0, 356(-0,829+8,497j) + 1 = 6,037е 97,7j

Знайдемо вираз для оригіналу h(t):

h(t) = 1 - 0,018е -63,698t + 0,505e-0,829t – j(8,497+ 166,7) + 0,505e-0,829t + j(8,497t +166,7)

**h(t) = 1 – 0,018е –63,698t + 0,252e -0,829t cos(8,497t + 166,7)**

По одержаному аналітичному виразу будуємо графік



Рис. 2. Перехідна функція замкненої системи **h(t)**

* 1. Амплітудно-фазова характеристика замкненої системи. Передавальна функція замкненої системи:



Формальною заміною оператора р на jω одержуємо вираз для амплітудно-фазової характеристики.



Запишемо амплітудно-фазову характеристику у вигляді W(jω) = P(jω) + j ⋅ Q(jω)



Помноживши на спряжений вираз і зробивши перетворення одержимо:



ТодіP(ω) =



Q(ω) =



По одержаним рівнянням будуємо графік амплітудно-фазової характеристики.



Рис. 3. Амплітудно–фазова характеристика замкненої системи

Логарифмічно-частотні характеристики

Передавальна функція розімкненої системи має вигляд:



ЛАЧХ будуємо за допомогою спряжених частот

ω1 = 1/Тм = 1/0,35 = 28,57 с-1;ω2 = 1/Тп = 1/0,016 = 62.5 с-1;

ω∈ [0, ω1] – пряма лінія з нахилом –20 (дб/дек);

ω∈ [ω1, ω2] – пряма лінія з нахилом –40 (дб/дек);

ω∈ [ω2, ∞] – пряма лінія з нахилом –60 (дб/дек);

ФЧХ системи складається з трьох складових ϕ = ϕ1 + ϕ2 + ϕ3.

ϕ1 = -arctg(1/0) = -90°;

ϕ2 = -arctg(0,35⋅ω);

ϕ3 = -arctg(0,016⋅ω).

Тоді маємо **ϕ(ω) = –90° – arctg(0,35⋅ω) – arctg(0,016⋅ω);**

По одержаним залежностям будуємо графіки.

ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої не корегованої системи:



Рис. 4. ЛАЧХ розімкненої не корегованої системи



Рис. 5. ЛФЧХ розімкненої не корегованої системи

**9. Корегування слідкуючої системи**

Корегування САК здійснюємо за допомогою пасивної диференційної ланки



Рис. 6. - Передавальна функція ланки має вигляд:



де **Т1** = R1⋅C1 = 65⋅103⋅10⋅10-6 = **0,65** c

**T2**= R1⋅C1⋅R2/(R1 + R2) = 0,65⋅50⋅103/(65+50)⋅103 = **0,283** c.

**G0** = T2/T1= 0,283/0,65 = **0,435**

У структурній схемі корегуючу ланку ставимо після електронного підсилювача і перед тиристорним перетворювачем.

**10. Передавальні функції окремих елементів корегованої системи**

1. Передавальна функція розімкненої системи:



2) Передавальна функція замкненої системи відносно завдання:



3) Передавальна функція для похибки замкненої системи:



1. Передавальна функція замкненої системи відносно збурення:



**11. Усталена похибка корегованої системи**

Визначимо граничний коефіцієнт підсилення скорегованої системи.

Запишемо характеристичне рівняння скорегованої САК:

**ТмТп Т2р4+((Тм+Тп)⋅Т2+ТмТп )р3+(Тм+Тп+Т2)·р2+(1+KG0T1)p+КG0 = 0**

**0,001132р4 + 0,12р3 +0,693р2 + (1+0,283K)р + 0,435K = 0**

Для стійкості необхідно виконання двох умов :

* Правило Стодоли: щоб усі три корені були додатніми, ця умова виконується.
* Критерій Гурвіца: для кубічного рівняння а3 ⋅ (а1⋅а2–а0⋅а3)–а12⋅ а4 > 0

а0 = 0,001132 а1 = 0,12 а2 = 0,693 а3 = 1+ 0,283Kа4 = 0,435K

Маємо квадратну нерівність К2 – 184,4·К – 911,1 = 0

Знаходимо корені К1 = 189,2;К2 = -4,8.

Вибираємо **К = 189**

З умови, що запас стійкості має лежати в межах 2÷3 коефіцієнт підсилення дорівнює

К= Кг/2,5 = 189/2,5 = 75,6

Приймаємо **К = 75**

Тоді коефіцієнт електронного підсилювача дорівнює:

Кгр = 75/0,21 = 357,14

Усталена похибка слідкуючої системи дорівнює:



Де α0 , f0 – усталені значення завдання і збурення відповідно.

Оскільки ми не маємо даних стосовно збурю вальної дії Мс то ми нехтуємо другим доданком. Отже усталена похибка нашої САК дорівнює:



**12. Логарифмічні характеристики розімкненої корегованої системи.**

* 1. **Логарифмічно-частотні характеристики розімкненої корегованої системи.**

Передавальна функція розімкненої корегованої системи має вигляд:



ЛАЧХ будуємо за допомогою спряжених частот

ω1 = 1/Т1 = 1/0,65 = 1,54 с-1;ω2 = 1/Т2 = 1/0,283 = 3,53 с-1;

ω3 = 1/Тм = 1/0,4 = 2,5 с-1;ω4 = 1/Тп = 1/0,01 = 100 с-1;

ω∈ [0, ω1] – пряма лінія з нахилом –20 (дб/дек);

ω∈ [ω1, ω2] – пряма лінія без нахилу;

ω∈ [ω2, ω3] – пряма лінія з нахилом –20 (дб/дек);

ω∈ [ω3, ω4] – пряма лінія з нахилом –40 (дб/дек);

ω∈ [ω4, ∞] – пряма лінія з нахилом –60 (дб/дек);

ЛАЧХ корегованої системи:



Рис. 7. ЛАЧХ розімкненої корегованої системи.

ЛФЧХ системи складається з трьох складових ϕ = ϕ1 + ϕ2 + ϕ3 + ϕ4.

ϕ1 = -arctg(1/0) = -90°;

ϕ2 = -arctg(0,17⋅ω);

ϕ3 = -arctg(0,008⋅ω)



Тоді маємо ϕ(ω)=– 90° – arctg(0,4⋅ω) – arctg(0,01⋅ω);



По одержаним залежностям будуємо графік.



Рис. 8. ЛФЧХ розімкненої корегованої системи.

**12.2 Перехідна функція замкненої корегованої системи**

Передавальна функція замкненої корегованої системи має вигляд:



де G0 = T2/T1= 0,283/0,65 = 0,435

Маємо α = 1/р тоді



Підставивши числові значення одержимо



Запишемо характеристичне рівняння системи:

**0,001132р4 + 0,12р3 + 0,693р2 + 22,22р + 32,62 = 0**

За допомогою ЕОМ знаходимо корені рівняння (19):

р1 = –101,9;

р2 = –2,175 – 23,961j = 24,06·e85°j;

р3 = –2,175 + 23,961j = 24,06·e-85°j;

р4 = –1,746.

Далі для знаходження оригіналу h(t) скористаємося другою теоремою Хевісайда , суть якої в наступному : якщо зображення F(p) функції f(t) має вигляд

;



то її оригінал дорівнює



де pk – корені характеристичного рівняння.

В нашому випадку F1(p) = 32,6·(0,65р + 1);

F2(p) = 0,001132р4 + 0,12р3 + 0,693р2 + 22,22р + 32,62;

F’2(р) = 0,00453р3 + 0,36р2 + 1,386р + 22,22.

Знайдемо значення F’2(рк) , де pk – корені характеристичного рівняння.

F’2(р1)=0,001108(–130)3 + 0,1131 (-130)2 + 0,764 (–130) + 21,4 = -600,8

F’2(р2)=0,001108(–2,175 – 23,961j)3 + 0,1131 (–2,175 – 23,961j)2 + 0,764 · ·(–2,175 – 23,961j) +21,4 = -40,521+8,348j = 41,372e-11,6°j

F’2(р3)=0,001108(–2,175 + 23,961j)3 + 0,1131 (–2,175 + 23,961j)2 + 0,764 · ·(–2,175 + 23,961j) + 21,4 = -40,521-8,348j = 41,372e11,6°j

F’2(р4)=0,001108(–1,746)3+0,1131(–1,746)2 + 0,764 (–1,746) + 21,4=20,405

F1(0) = 36,4F2(0) = 36.4

F1(р1) = 36,4·(0,56 (–130) + 1) = -2614

F1(р2) = 36,4·(0,56 (–2,175 – 23,961j) + 1) = -7,935-488,421j = 488,485·e89°j

F1(р3) = 36,4·(0,56(–2,175 + 23,961j) + 1) = -7,935+488,421j = 488,485·e-89°j

F1(р4) = 36,4·(0,56 (-1,746) + 1) = 0,81

Знайдемо вираз для оригіналу f(t) :

h(t)=1–0,0335е -130 t+0,49(е -2,175t+(0,272-23,961t)j+ е -2,175t-(0,272-23,961t)j)-0,0227e-1,746t

**h(t)=1–0,0335е -130t –0,0227е -1,746t +0,245e-2,175t ⋅cos(-23,961t + 0,272)**

По одержаному аналітичному виразу будуємо графік.

Перехідна характеристика замкненої корегованої системи:



Рис. 9. Перехідна функція замкненої корегованої системи

Якість перехідного процесу характеризується величинами, які визначаємо з графіку:

* Час регулювання Трг = **1,4** с.
* Перерегулювання = **20,52**



* Логарифмічний декремент затухання d=ln(h2/h1)=ln(0,18/0,52)=**–1,061**
* Запас за фазою – Δψ(ω) = ⏐-180° - ϕ(ωс)⏐ = ⏐-180° – (-162°)⏐= 18°
* Запас за амплітудою – ΔL(ω)=⏐L(ω-180)⏐=**12** ДБ ; (ϕ(ω-180) = -180°)

## **Список літератури**

* + - 1. Васильєв Д.В. “Системи автоматического управления”, Москва, “Высшая школа”, 1983 г
      2. Попович М.Г “Теорія автоматичного керування ” 1994р.
      3. Галай М. В., Бреус М.І “Методичні вказівки по курсовому проектуванню з ТАК” Полтава, ПолТУ.