УДК 681.518.2

О.В.Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ДОСЛІДЖЕННЯ СТЕЖАЧОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ

Розглядаються питання побудови стежачих систем управління на основі теоретичних положень теорії автоматичного управління, теорії електропривода та систем керування електроприводами. Обґрунтовано вибір складових частин та елементної бази системи автоматичного управління стежачим електроприводом (СЕП). При виконанні аналізу і синтезу САУ стежачим електроприводом визначена структура даних систем – вони будуються за принципом підпорядкованого регулювання координат. У роботі приведені результати досліджень СЕП, які дають можливість синтезувати схеми управління та розраховувати елементи, передавальні функції, коефіцієнти передачі відповідних регуляторів та механічні характеристики і перехідні процеси системи.

Ключові слова: *підпорядковане регулювання, підсилювач, двигун постійного струму (ДПС), модель, електропривод, координата, зворотний зв'язок, корекція, регулятор,коефіцієнт передачі.*

Вступ

Системи навігації та управління рухом транспортними засобами працюють в режимі стеження (інколи в режимі позиціювання) за об'єктами, які постійно змінюють свої координати у просторі не за раніше визначеним законом. Вимоги до точності управління переміщенням об'єктів дуже високі, оскільки від цього залежить якість виконання технологічних операцій і рух за заданою траєкторією.

Виконання цих вимог забезпечують стежачі системи автоматичного управління(САУ), які побудовані за принципом підпорядкованого регулювання координат. Ці системи мають високу точність відпрацювання сигналу задання положення за рахунок послідовної корекції керуючого впливу на силовий тиристорний перетворювач, що живить двигун постійного струму (ДПС), який приводить у рух робочий орган пристрою навігації та управління рухом.

У статті розглядається структура, принцип роботи та основні параметри і характеристики, методика розрахунку елементів та складових частин стежачих систем управління

Викладення основного матеріалу

При автоматизації позиційних механізмів засобів навігації, основним робочим рухом яких є кутові та лінійні переміщення ВО і його зупинка у необхідних положеннях, широкого розповсюдження набув позиційний електропривод (ЕП) із системами керування положенням.

Автоматичне керування положенням буває двох видів:

а) дискретне позиціювання ЕП у заданих точках шляху за дискретними сигналами шляхових датчиків;

б) неперервне автоматичне керування положенням за відхиленням для здійснення дозованих переміщень чи за заданою програмою.

Незалежно від способу керування ЕП забезпечує:

– дискретне або неперервне задання позиції чи значення переміщення;

– контроль переміщення в позиції, що визначається необхідною точністю зупинки робочого органу (РО) та продуктивністю пристрою, яка залежить від швидкості переміщення в задану позицію;

– точну зупинка в заданій позиції.

При дискретному позиціюванні задається визначене кінцеве положення руху РО. Контроль положення здійснюють дискретні датчики положення – контактні і безконтактні шляхові вимикачі з похибкою спрацювання 1 – 0,01 мм. У цьому випадкові звичайно використовуються розімкнені системи керування ЕП, що забезпечують зупинку електродвигуна в заданій позиції з

використанням механічного гальма. Такий вид керування використовується при невисокій точності позиціювання з рідкопереналагоджувальним циклом переміщень.

При неперервному керуванні положенням контроль положення РО відбувається безперервно протягом усього переміщення до зупинки у заданому положенні. Для цього використовують замкнені системи ЕП. Такий вид керування необхідний у системах позиціювання високої точності з часто переналагоджувальним циклом переміщень. Точні системи позиціювання будуються за принципом підпорядкованого регулювання з двигунами постійного струму, причому до внутрішніх контурів струму і швидкості додається аналоговий чи цифровий контур положення.

Стежачі СКЕП широко використовують у різних галузях техніки, наприклад у копіювальних верстатах, у багатодвигунних ЕП, де вимагається узгодження положень окремих механізмів технологічних машин, у радіолокаційних установках тощо.

Стежачі системи відрізняються від програмних лише тим, що програма y = f(t) чи y' = f(t) не відома заздалегідь. У якості запам'ятовуючого пристрою буде використовуватись орган, що стежить за змінами зовнішнього параметра (задавальної дії). Саме ці зміні й будуть визначати параметри вихідної величини системи автоматичного керування.

Вхідна величина q часто задається безпосередньо поворотом командного (вхідного) вала на кут $\Theta_{ВХ}$ вручну або яким-небудь іншим автоматичним пристроєм. Датчики Д1 і Д2 разом становлять вимірювач розузгодження (ВР), який визначає різницю кутів повороту вхідного і вихідного валів, тобто розузгодження (похибку) $\delta = \Theta_{ВХ} - \Theta_{ВИХ.}$ У якості вимірювачів розузгоджень використовують різні пристрої: потенціометричні, сельсинові та ін.

Силова частина стежачої СКЕП може бути виконана в різних варіантах системи П – Д: із двигунами постійного струму, з двофазним АД, із частотно-регульованим трифазним АД. Різноманітними можуть бути і перетворювачі системи П – Д: електромашинні, тиристорні та ін.

Найбільшого розповсюдження набули стежачі СКЕП із неперервним керуванням. Разом із цим знаходять застосування також релейні, імпульсні й цифрові системи.

Особливість релейної системи полягає в тому, що вона веде відпрацьовування розузгодження тільки тоді, коли похибка δ досягає певної заданої величини. При цьому двигун умикається на повну потужність – швидкість у напрямку обертання, відповідному зменшенню похибки. Відпрацьовування закінчується, як тільки похибка буде зменшена до якої-небудь величини, меншої або рівної заданій. Цей характер стеження в релейній системі зумовлений присутністю в каналі керування нелінійного елемента з релейною характеристикою. Звичайно таким елементом є підсилювач ПР або проміжний підсилювач ПП.

До імпульсних систем належать стежачі системи, наприклад, із широтно-імпульсними силовими перетворювачами, з імпульсними датчиками вихідного кута (наприклад із фотоелектричними датчиками).

У цифрових СЕП використовують цифрові вимірювачі розузгодження, а сигнал задання може надходити в систему, наприклад, від цифрової обчислювальної машини.

Особливістю СЕП є те, що значення вхідної (задавальної) величини q, тобто необхідне значення вихідної Y, може змінюватися у часі невідомим раніше чином.

Для проведення досліджень СЕП із метою її оптимізації у статичних і динамічних режимах роботи була розроблена експериментальна установка, функціональна схема якої показана на рисунку 2.

На початку дослідження СЕП визначено математичні вирази, що описують її структуру.

Передавальна функція об'єкта регулювання положення має вигляд

$$W_{орп(р)} = W_{зам.с} \cdot \frac{1}{p} = \frac{1/K_{ос}}{a_c \cdot a_T \cdot T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{p}. \quad (1)$$

Для отримання передавальної функції розімкненого контуру регулювання положення необхідно розрахувати регулятор

$$W_{рп}(p) = K_{рп} = \frac{K_{ос}}{K_{оп} \cdot a_п \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_\mu}. \quad (2)$$

Тоді передавальна функція розімкненого контуру регулювання положенням матиме вигляд

$$W_{роз.п(р)} = \frac{1/K_{ос}}{a_п \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_\mu p(a_c \cdot c_T \cdot T_\mu p + 1)}. \quad (3)$$

Після проведення розрахунків була отримана структурна схема 3-контурної стежачої системи, в блоках якої – числові значення розрахованих коефіцієнтів (рис. 3).

За отриманою структурною схемою СЕП (рис. 3) розраховані пасивні і активні параметри у наступному порядку:

1. Згідно з виразом (2) розрахований коефіцієнт передачі для П-регулятора положення.

2. Розраховано передавальну функцію регулятора струму за наступним виразом

$$W_{р.с(р)} = \frac{(T_я p + 1)}{T_{и.с}} = \frac{T_я}{T_{и.с}} + \frac{1}{T_{и.с}}, \qquad (4)$$

де $T_{и.с}$ – постійна інтегрування,

$$T_{и.с} = \frac{K_{ос} \cdot K_{тг}}{R_{яΣ}} \cdot a_с \cdot T_μ ;$$

$$a_с = \frac{T_{рс}}{T_{μс}} = 2\frac{T_{μс}}{T_{μс}} = 2 ;$$

$$T_μ = 0{,}1 ;$$

$T_я$ – постійна часу двигуна.

3. Розраховано передавальну функцію регулятора швидкості виходячи із рівняння:

$$W_{р.ш(р)} = \frac{K_{о.с} \cdot T_м}{R_{яΣ} \cdot K_{о.ш} \cdot a_ш \cdot a_с \cdot T_μ}, \qquad (5)$$

де $K_{о.ш} = K_{тг}(\frac{R_{зш}}{R_{ош}}) = \frac{U_{зш.ном}}{\varpi_{ном}}$;

$$a_ш = \frac{T_{рш}}{T_{μш}} = 8\frac{T_{μш}}{T_{μш}} = 8 ;$$

$T_м$ – електромеханічна стала часу, с;

4. За результатами розрахунків у п.1.3. у експериментальну схему (рис. 2) були підставлені отримані значення коефіцієнтів.

5. Послідовно змінюючи вигляд вхідної дії (одинична вхідна дія, генератор довільних прямокутних імпульсів та ін..), були отримані різні за характером перехідні процеси швидкості двигуна $Ω_{вих}(t)$ та залежності Q(t), $Q_з(t)$, e(t).

6. Змінюючи параметр $W_{рп}$ у межах $W_{рп}$ = [0, 0,2, ... 1], досліджено величину похибки розузгодження сигналів завдання положення e(t) та побудовано графік залежності усталеної похибки розузгодження від коефіцієнта передачі П-регулятора положення $e(W_{рп})$.

Висновки

У результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень структури та принципу роботи стежачої системи, розрахунку передавальної функції та її основних частин можливо зробити наступні висновки:

1. Стежачі САУ (як і позиційні) будуються винятково за принципом підпорядкованого регулювання координат. Така будова дозволяє отримувати високу якість перехідних процесів та точність процесів позиціювання і стеження.

2. Основним критерієм роботи стежачої САУ є точність відпрацювання заданої траєкторії руху робочого органу і зупинка у визначеній точці.

3. Найбільшого розповсюдження набули стежачі САУ із неперервним керуванням. Разом із цим знаходять застосування також релейні, імпульсні й цифрові системи.

4. Використовуючи математичні вирази, отримані при дослідженні структурної схеми САУ СЕП можливо розрахувати всі елементи систем різної складності.

Список літератури

1. *Попович М.Г., Борисюк М.Г., Гаврилюк В.А. та ін. Теорія електропривода / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.*
2. *Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елесеева и А.В. Шиянского. – М.: Энергоиздат, 1987. – 616 с .*
3. *Терехов В.М. Элементы автоматизированого електропривода / В.М. Терехов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.*
4. *Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барынина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1982. – 415 с.*
5. *Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник / М.В. Галай. – Полтава: ПНТУ, 2002. – 375 с.*
6. *Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами; Навчальний посібник / О.В. Шульга. – Полтава: ПолтНТУ, 2010, – 298с.*
7. *Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление електроприводами / Е.Н. Зимин, В.И. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.*
8. *Терехов В.М. Дискретные и непрерывные системы управления в електроприводах / В.М. Терехов. – М.: Издательство МЭИ, 1989. – 77 с.*
9. *Следящие электроприводы / Под ред. Б.К. Чемоданова. – М.: Издательство МЭИ, 1980. – 104 с.*
10. *Приминение микропроцессоров в автоматизированном электроприводе / Под ред. Л.А. Ильяшенко. – М.: Издательство МЭИ, 1986. – 102 с.*

Надійшла до редколегії 15.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління», Київ.

ИСЛЕДОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.В. Шульга

Рассматриваются вопросы построения следящих систем управления на основе теоретических положений теории автоматического управления, теории электропривода и систем управления электроприводами. Обоснован выбор составных частей и элементной базы системы автоматического управления следящим электроприводом (СЭП). При выполнении анализа и синтеза САУ следящим электроприводом определена структура данных систем – они строятся по принципу подчиненного регулирования координат. В работе приведены результаты исследований СЭП, которые дают возможность синтезировать схемы управления и рассчитывать элементы, передаточные функции, коэффициенты передачи соответствующих регуляторов и механические характеристики и переходные процессы системы.

Ключевые слова: *подчиненное регулирование, усилитель, двигатель постоянного тока (ДПС), модель, электропривод, координата, обратная связь, коррекция, регулятор, коэффициент передачи.*

TRACKING NAVIGATION SYSTEM RESEARCHES WITH OPTIMAL CONTROL LAWS DEFINITION

O.V. Shulga

Servo control system construction questions based on control theory, electric drive theory and motor control systems theoretical principles considered. Automatic control follower drive parts and hardware components choice substantiated. In ACS follow-up motors analysis and synthesis determined these systems structure – they are based on subsidiarity control coordinates principle. Paper presents research results, which give opportunity to synthesize control circuit and to count elements, transfer functions, appropriate controls transfer coefficients, mechanical characteristics and systems transient responses.

Keywords: *subordinate control, gain, DC motor, model, electric drive, coordinate, feedback, correction, control, transfer coefficient.*