

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, В.О. Сокіріна

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ 2-КОНТУРНОЇ САУ З ПІ-РЕГУЛЯТОРОМ ШВИДКОСТІ ТА ПІ-РЕГУЛЯТОРОМ СТРУМУ, ПРИЗНАЧЕНОЇ ДЛЯ РОБОТИ У НАВІГАЦІЙНИХ ПРИСТРОЯХ

Розглядаються теоретичні положення про системи підпорядкованого регулювання координат, їх устрій та принципи побудови. Приведені схематичні рішення складових частин, які забезпечують велику точність регулювання швидкості робочих органів систем навігації і стабільні експлуатаційні характеристики.

**Ключові слова:** підсилювач, двигун постійного струму електропривод, коефіцієнт передачі.

### Вступ

Об'єкти систем навігації та управління рухом здійснюють як кутові так і лінійні переміщення у просторі. На протязі переміщення об'єкти рухаються як з постійною швидкістю, так і зі швидкістю, яка змінюється за певним, раніше заданим законом. Вимоги до підтримання швидкості та регулювання її у заданому діапазоні дуже жорсткі.

Для забезпечення цих вимог використовуються системи автоматичного управління (САУ), побудовані за принципом підпорядкованого регулювання координат. Дані системи мають високу точність відпрацювання сигналу задання швидкості за рахунок послідовної корекції керуючого впливу на силовий тиристорний перетворювач, що живить двигун постійного струму (ДПС), який приводить у рух робочий орган пристрою навігації [1 – 3].

**Мета статті** – правильний вибір елементів та складових частин САУ, визначення типів регуляторів, математичних виразів для розрахунку їх параметрів та механічних характеристик.

### Викладення основного матеріалу

Найширше застосовуються два варіанта побудови замкнених систем керування: 1) з одним загальним складальним підсилювачем; 2) з  $n$  послідовними підсилювачами, так звані системи підпорядкованого регулювання координат.

Розглянемо системи підпорядкованого регулювання координат із послідовною корекцією є рівна кількість підсилювачів і замкнених контурів числу регульованих координат. При цьому контури розташовуються таким чином, що вихідний сигнал зовнішнього контуру є задавальним вхідним сигналом внутрішнього контуру. Тим самим кожний внутрішній контур є підпорядкованим зовнішньому контуру, звідки і пішла назва підпорядкованих систем. Вибір типів регуляторів та розрахунок їх параметрів звичайно виконують таким чином, щоб отримати в

динамічних режимах технічно оптимальний перехідний процес (налагодження на технічний оптимум). При технічному оптимумі за допомогою регулятора забезпечується така бажана передавальна функція розімкненого оптимізованого контуру:

$$W_{p.o.(техн)} = 1 / \left( k_{зз} \cdot 2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1) \right), \quad (1)$$

де  $T_{\mu}$  – деяка постійна часу контуру;  $k_{зз}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку.

Ця функція відображається кривою (рис. 1) та характеризується перерегулюванням  $\Delta x = 4,3 \%$ , часом регулювання  $t_1 = 4,1 \cdot T_{\mu}$ .

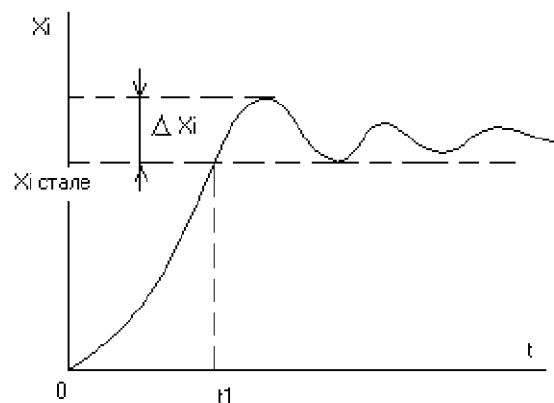


Рис. 1. Технічно оптимальний перехідний процес

Настроювання на технічний оптимум виконується із тієї умови, що постійні часу кожного наступного контуру більші за попередні в 2 рази, тобто

$$T_{\mu i} / T_{\mu(i-1)} = 2,$$

де  $i$  – номер контуру.

Таке настроювання забезпечує такі показники перехідного процесу:

при  $i = 2$ ,  $\Delta x = 8 \%$ ,  $t_1 = 7 \cdot T_{\mu}$ ,

при  $i = 3$ ,  $\Delta x = 6,2 \%$ ,  $t_1 = 13,6 \cdot T_{\mu}$ .

При настроюванні контуру на симетричний оптимум передавальна функція розімкненого оптимізованого контуру має вигляд

$$W_{p.o.(сим)} = (4 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1) / \left( k_{зз} \cdot 8 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1) \right). \quad (2)$$

Таке настроювання в ЕП забезпечує астатичне регулювання координат та високу швидкодію при відпрацюванні збурювальних впливів, але перехідні процеси при стрибкоподібних змінах керуючих впливів відбуваються з великим перерегулюванням, яке доходить до 55%. У системах автоматизованого ЕП постійного і змінного струму в загальному випадку здійснюється регулювання струму, моменту, напруги, ЕРС, магнітного потоку, швидкості та положення як за технічним, так і за симетричним оптимумом. Зв'язок елементів, при якому вихід попереднього елемента з'єднаний із входом наступного, називається прямим. Зворотний зв'язок (надалі ЗЗ) – з'єднання елементів, при якому вихід наступного з'єднаний із входом одного з попередніх (додатний ЗЗ – підсилює дію прямого зв'язку, а від'ємний – послаблює).

Головний зв'язок завжди від'ємний. ЗЗ між елементами в середині системи називають внутрішнім ЗЗ. Найпоширеніші зворотні зв'язки бувають: жорсткі (не залежні від часу), додатні і від'ємні, від'ємні гнучкі (диференціальні), що існують лише тоді, коли похідні сигналів  $\neq 0$  та від'ємні ізодромні. Нами застосовуються від'ємні жорсткі зворотні зв'язки. Сигнал зворотного зв'язку за струмом  $U_{ззс}$  порівнюється із сигналом завдання струму  $U_{зс}$  (що надходить із регулятора швидкості) на входах операційного підсилювача. За пропорційно-інтегральним законом на виході регулятора струму випрацьовується напруга розузгодження входних сигналів та подається на вхід тиристорного перетворювача ТП.

У свою чергу напруга зворотного зв'язку за швидкістю  $U_{ззш}$  (що надходить із тахогенератора теж порівнюється зі сигналом завдання  $U_{зш}$ . За пропорційним законом на виході операційного підсилювача отримуємо напругу розузгодження входних сигналів, що є вхідною (задавальною) величиною для регулятора струму РС.

Передавальна функція регулятора струму має такий вигляд:

$$W_{p.c(p)} = \frac{(T_{я}p + 1)}{T_{и.с}} = \frac{T_{я}}{T_{и.с}} + \frac{1}{T_{и.с}}, \quad (3)$$

де  $T_{и.с}$  – постійна інтегрування,

$$T_{и.с} = \frac{K_{ос} \cdot K_{тг}}{R_{я\Sigma}} \cdot a_c \cdot T_{\mu}; \quad a_c = \frac{T_{pc}}{T_{\mu c}} = 2 \frac{T_{\mu c}}{T_{\mu c}} = 2;$$

$T_{\mu} = 0,1$ ,  $T_{я}$  – постійна часу двигуна.

Параметри регулятора швидкості, що забезпечують оптимальну функцію керування контуру, визначаються виходячи з передавальної функції РШ:

$$W_{p.ш(p)} = \frac{K_{ос} \cdot T_{м}}{R_{я\Sigma} \cdot K_{о.ш} \cdot a_{ш} \cdot a_c \cdot T_{\mu}}, \quad (4)$$

де  $K_{о.ш} = \frac{U_{зш.ном}}{\omega_{ном}}$ ,  $a_{ш} = \frac{T_{рш}}{T_{мш}} = 8 \frac{T_{мш}}{T_{мш}} = 8;$

$T_{м}$  – електромеханічна стала часу, с.

Для проведення досліджень синтезована 2-контурна САУ швидкістю ДПС, котра зображена на рис. 2, 3.

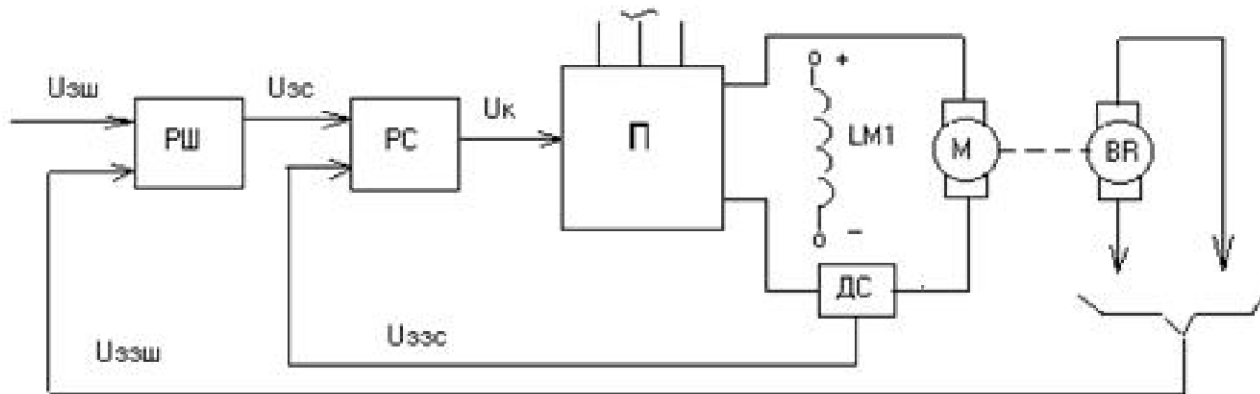


Рис. 2. Загальна функціональна схема 2-контурної САК із П-регулятором швидкості та ІІ-регулятором струму

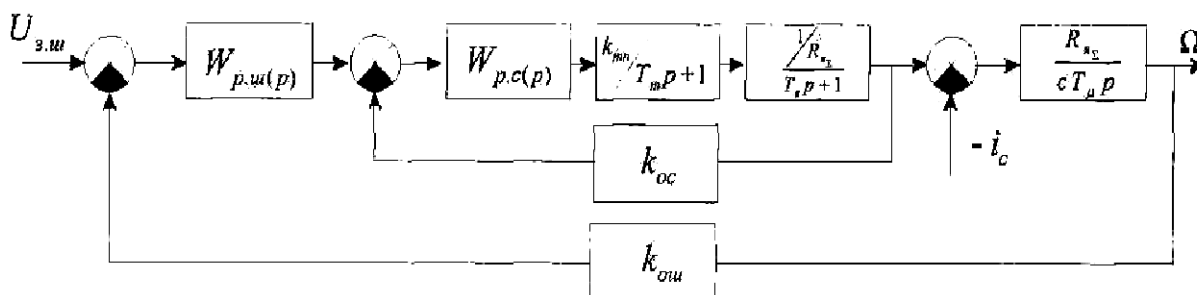


Рис. 3. Загальна структурна схема 2-контурної САК із П-регулятором швидкості та ІІ-регулятором струму

САУ має внутрішній контур регулювання струму з П – регулятором струму РС і зовнішній контур регулювання швидкості з П-регулятором швидкості РШ.

Оскільки регулятор РС має інтегруючий елемент, у сталому режимі результуючий сигнал,  $U_{\text{вх.р.с.}}$  на вході РС повинен бути рівним 0.

Таким чином, виконується умова

$$U_{\text{вх.р.с.}} = U_{\text{зс}} - U_{\text{ззс}} = U_{\text{зс}} - k_c \cdot I_a = 0, \quad (5)$$

де  $U_{\text{зс}} - U_{\text{вих.рш}}$  – сигнал на виході РШ, який є задавальним сигналом для контуру струму;  $k_c$  – коефіцієнт ВЗЗ по струму. У свою чергу:

$$U_{\text{зс}} = (U_{\text{зш}} - U_{\text{ззш}}) \cdot k_{\text{рш}} = (U_{\text{зш}} - k_{\text{ш}} \cdot \omega) \cdot k_{\text{рш}}, \quad (6)$$

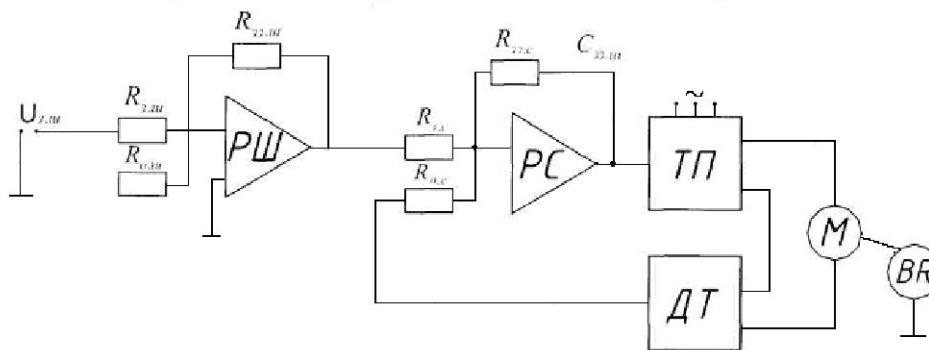


Рис. 4. Функціональна схема 2-х контурної САУ із П-регулятором швидкості та ПІ-регулятором струму

## Висновки

У результаті синтезу 2-х контурної САУ швидкістю приводу постійного струму та проведення її аналізу зроблені такі висновки:

1. Визначені типи регуляторів, які необхідно використовувати у даних САУ. Розглянуті їх передавальні функції та співвідношення коефіцієнтів передачі.
2. Теоретично обґрунтовано застосування внутрішнього контуру регулювання струму, що працює за пропорційно-інтегральним законом керування.
3. В результаті математичних перетворень вихідних виразів, отримані рівняння для розрахунку статичної швидкісної характеристики системи в режимі стабілізації швидкості.

де  $U_{\text{зш}}$  – задавальний сигнал для контуру швидкості;  $k_{\text{ш}}$  – коефіцієнт ВЗЗ по швидкості;  $k_{\text{рш}}$  – коефіцієнт підсилення регулятора РШ.

Надалі із рівнянь (5) і (6) отримаємо:

$$(U_{\text{зш}} - k_{\text{ш}} \cdot \omega) \cdot k_{\text{рш}} = k_c \cdot I_a, \quad (7)$$

тобто рівняння статичної швидкісної характеристики системи в режимі стабілізації швидкості:

$$\omega = U_{\text{зш}} / k_{\text{ш}} - I_a \cdot k_c / k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{рш}} = \omega_0 - \Delta\omega_3, \quad (8)$$

де  $\omega_0 = U_{\text{зш}} / k_{\text{ш}}$ ;  $\Delta\omega_3 = I_a \cdot k_c / k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{рш}}$ .

Таким чином, жорсткість характеристики визначається співвідношенням коефіцієнтів:  $k_c$ ,  $k_{\text{ш}}$ ,  $k_{\text{рш}}$ . На рис. 4 зображена функціональна схема синтезованої 2-х контурної САУ швидкістю руху ДПС.

4. Однозначно визначено залежність жорсткості характеристики від значень коефіцієнтів підсилення  $k_c$ ,  $k_{\text{ш}}$ ,  $k_{\text{рш}}$ .

## Список літератури

1. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навч. пос. / М.В. Галай. – Полтава: ПНТУ, 2002. – 315 с.
2. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами / О.В. Шульга. – Полтава: ПНТУ, 2010. – 298 с.
3. Терехов В.М. Дискретные и непрерывные системы управления в электроприводах / В.М. Терехов. – М.: Издательство МЭИ, 1989. – 77 с.

Надійшла до редколегії 11.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ 2-КОНТУРНОЙ САУ С П-РЕГУЛЯТОРОМ СКОРОСТИ И ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ ТОКА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ РАБОТЫ В НАВИГАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, В.А. Сокирина

Рассматриваются теоретические положения о системах подчиненного регулирования координат, их устройство и принципы построения. Приведены схематические решения составных частей, которые обеспечивают большую точность регулирования скорости рабочих органов систем навигации и стабильные эксплуатационные характеристики.

**Ключевые слова:** двигатель постоянного тока, электропривод, коэффициент передачи.

## SYNTHESIS AND RESEARCH OF 2-CIRCUIT CONTROL SYSTEM WITH SPEED P-CONTROLLER AND CURRENT PI-CONTROLLER, DESIGNED FOR OPERATION IN NAVIGATION DEVICES

O.V. Shulga, D.N. Neliuba, V.A. Sokirina

The theoretical statements of coordinate slave control systems their design and construction principles. A schematic solutions components, which provide more accurate speed control of working bodies of navigation systems and stable performance.

**Keywords:** power, DC motor, model, feedback, transfer coefficient.