

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних і самостійних робіт
з дисципліни

“ СУЧАСНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ”

(для аспірантів і магістрів всіх форм навчання.)

Спеціальності:

141 - «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка»

Освітньої програми 14:

«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

Запоріжжя
2022

Методичні вказівки до виконання лабораторних і самостійних робіт з дисципліни “Сучасні методи аналізу систем автоматичного управління та регулювання” (для аспірантів і магістрів всіх форм навчання) спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» Освітньої програми 14 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» денної та заочної форм навчання. Інженерно-фізичний інститут, Електротехнічний факультет./ Укл. В.В. Зіновкін. - НУ «Запорізька політехніка», 2022. - 22 с.

Укладачі: В.В.Зіновкін, проф., д.т.н.

Рецензент: Ю.О.Крисан, доц., к.т.н.

Відповідальний за випуск: А.В.Пирожок, доц., к.т.н., зав.каф.ЕПА

Затверджено на засіданні кафедри ЕПА
Протокол № 11 від 10.06. 2022р.

Рекомендоване до видання НМК ЕТФ
Протокол № 6 від 22.06 2022 р.

З М І С Т

Вступ.....	4
Рекомендації до виконання та захисту дослідження	5
1 Лабораторна робота №1.Дослідження лінійних характеристик системи підлеглого регулювання	Ошибка! Закладка не определена.
1.1Визначальні теоретичні відомості лінійних систем	6
1.2 Системи регулювання швидкості двигуна постійного струму	7
1.3Визначальні властивості системи відображення електромагнітних та електромеханічних процесів.....	9
1.4 Розрахунок контуру струму.....	10
1.5 Граничний випадок аперіодичного процесу.....	11
1.6 Розрахунок контуру швидкості.....	13
1.7 Якість системи стабілізації швидкості	15
1.8 Підвищення порядку астатизму системи	16
1.9 Послідовність виконання роботи.....	18
1.10 Варіанти похідних даних для виконання відповідної роботи.....	19
1.11 Умови виконання дослідження	20
1.12 Зміст звіту про виконання роботи.....	20
1.13 Контрольні питання до виконання завдання.....	20
Перелік рекомендованих джерел.....	21

Вступ

Основними об'єктами вивчення і дослідження сучасних систем автоматичного управління та регулювання стали нелінійні системи зі складними перехідними процесами і можливістю самоорганізації їхніх внутрішніх параметрів. Особлива увага приділяється дискретним інформаційно-управляючим системам та багатовимірним автоматизованим системам з великою кількістю вихідних змінних. До окремого класу в сучасних методах аналізу систем автоматичного управління та регулювання відносяться питання дотримання високої точності та ефективної ідентифікації об'єктів та пристроїв при сумісній взаємодії.

Основним інструментарієм сучасних методів аналізу систем автоматичного управління та регулювання є обчислювальні аналітичні та числові методи, в основу більшої частини яких покладено базові (класичні) підходи до аналізу, синтезу та управління, відомі ще з класичної теорії автоматичного керування. Новий розвиток систем автоматичного управління і керування пов'язано з впровадженням високопродуктивних мікропроцесорних і програмних засобів, а також науково обґрунтованих технічних рішень дистанційного отримання і обробки поточної інформації.

Методичні вказівки призначені для засвоєння нових методологічних підходів і методів дослідження багато параметричних систем автоматичного управління і керування складними електромеханічними системами і об'єктами з множиною параметрів різної фізичної природи. Мета досягається шляхом вивчення принципів функціонування нелінійних систем автоматичного керування з використанням точних та наближених методів аналізу та синтезу дискретних систем. Для більш поглибленого засвоєння матеріалу у вказівках приведено конспективні теоретичні методи і їх практичного використання.

При самостійній роботі доцільно користуватись конспектом лекцій, методичними вказівками та рекомендованою літературою.

Допускається самостійна постановка завдання дослідження та його виконання при безпосередньому узгодженні із викладачем.

Рекомендації до виконання та захисту дослідження

Рекомендації до виконання та захисту звіту про виконання лабораторних робіт та самостійних занять полягають в наступному.

Перед виконанням лабораторної роботи аспірант (магістр) доказує володіння теоретичним положенням, що відноситься до виконання певної роботи, при безпосередньому спілкуванні з викладачем. У випадку не достатньої готовності до проведення роботи виконавець отримує незадовільну оцінку (яка в подальшому упрощується шляхом ретельного виконання і захисту), але допускається при готовності.

Отримані результати у систематизованому вигляді представляються до захисту із обґрунтуванням у письмовому вигляді.

Лабораторні роботи допускається виконувати в навчальному приміщенні, комп'ютерному класі, самостійно з використанням сучасних дистанційних методів спілкування.

Кожна тема дослідження (лабораторна робота) повинна узгоджуватись з викладачем шляхом підтвердження вільного володіння теоретичними основами та інструментарієм щодо виконання роботи, представлення отриманого матеріалу, аналізу і формування висновків і рекомендацій.

Допускається виконання дослідження за самостійною пропозицією і тематикою у випадку отримання нових результатів, що співпадають з напрямком дисертаційного дослідження, або тематикою основного місця працевлаштування та ін. При цьому представляється письмове обґрунтування, технічний і календарний план проведення дослідження із обов'язковим узгодженням із викладачем.

Звіт про виконання лабораторної роботи представляється у письмовому вигляді в якому у логічній послідовності викладено і обґрунтовано всі матеріали дослідження у форматі А4 з урахуванням вимог ЄСКД та електронному варіанті.

Допуск до виконання наступного дослідження отримується тільки після захисту попередньої роботи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження лінійної системи підлеглого регулювання

Мета роботи полягає в засвоєнні методу синтезу системи підлеглого регулювання в лінійних системах підлеглого регулювання, виконати дослідження перехідних процесів у колах контурів та побудувати логарифмічно амплітудні частотні характеристики розімкнутих контурів регулювання.

1.1. Визначальні теоретичні відомості лінійних систем

Підлегле регулювання є одним із методів, що дозволяє створити систему автоматичного управління з відносно високими статичними і динамічними характеристиками електромеханічних систем та об'єктів. Вони представляють собою багатоконтурні системи і мають переваги в порівнянні з іншими при певних режимах і технологічних установах.

Автоматичні системи з підлеглим регулювання використовуються переважно в електромеханічних системах постійного струму. Однак вони можуть використовуватися в синтезованих системах та при вирішенні інших практичних завдань.

Сутність даного підходу полягає в тому, що в системі керування, крім основної регульованої величини, розглядаються координати інших ланцюгів, що є складовими і визначають стан системи в цілому. Останнє досягається шляхом налаштування контурів регулювання сукупності величин. Таким чином, отримується багатоконтурна система, в якій окремі контури виконують певні операції в логічній послідовності починаючи від вхідних ланцюгів до зовнішнього - контуру регулювання визначальної фізичної величини.

При такому підході використовується метод послідовної корекції основної фізичної величини шляхом впливу зворотних зв'язків, що призводить до коригування. Кожен контур, починаючи з внутрішнього, налаштовується таким чином, щоб розімкнутий контур був одноразово інтегруючим ланцюгом.

При цьому доцільно мати на увазі, що отримати ідеальну інтегруючу систему на практиці не представляється можливим. Це

пояснюється тим, що, в кожному контурі крім великих постійних часу об'єкта, мають місце декілька малих постійних часу інших ланцюгів, які не можливо навіть розглядати в наслідок чого вони залишаються поза межами розробника і є внутрішньою причиною можливих похибок. До них відносяться підсилювачі перетворювачі, фільтри, системи узгодження та ін.

Налаштування системи регулювання таким чином призводить до того, що вона стає системою другого порядку з однією інтегруючою і однією інерційною ланками, постійної часу. Остання є достатньо малою або складається із суми всіх малих постійних даного контуру.

Стала часу замкнутого внутрішнього контуру зазвичай є некомпенсованою або досить малою в порівнянні з постійної часу подальшого зовнішнього контуру.

Якщо враховувати ще постійні часу, що складаються із і власних (наприклад, фільтрів, компенсаторів та ін.) то його їх вплив може призвести до зростання похибки і точності регулювання.

1.2 Системи регулювання швидкості двигуна постійного струму

У лабораторній роботі розглядається система регулювання швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження з підлеглим струмовим контуром, структурна схема якої представлена на рис.1.1.

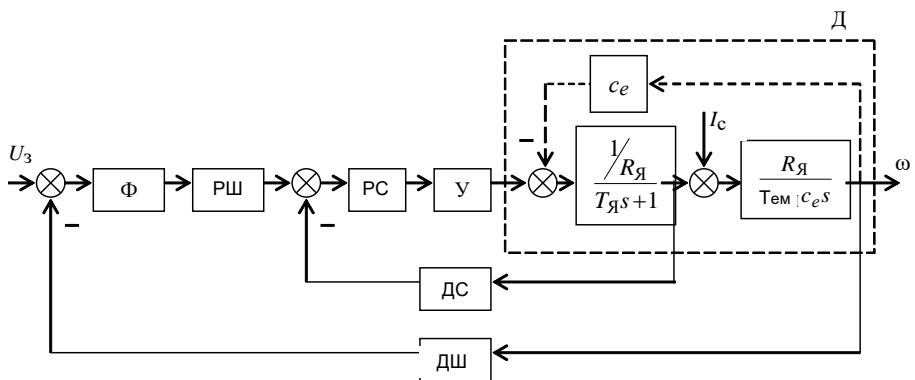


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи регулювання швидкості

електромеханічної системи у складі двигуна постійного струму незалежного збудження з підлеглим регулюванням.

На рис.1.1 прийнято наступні позначення:

- Φ - фільтр, призначений для згладжування колекторних пульсацій тахогенератора;
- РШ - регулятор швидкості;
- РС - регулятор струму;
- У - підсилювач потужності;
- Д - двигун постійного струму (пунктиром показана внутрішня зворотний зв'язок по ЕРС);
- ДС - датчик струму;
- ДШ - датчик швидкості.

В результаті певних перетворень, з метою позбавлення від перехресних зв'язків, отримуємо структуру, що показана на рис.1.2. Вона має всі визначальні елементи, що приведені на рис. 1.1 із зазначеними передавальними пристроями і виконують тіж функції.

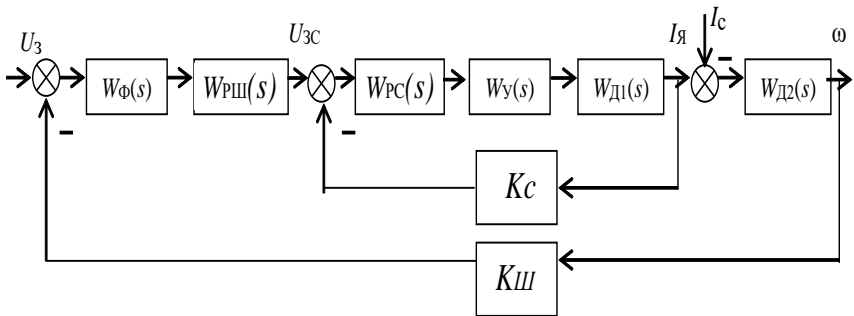


Рисунок1.2 - Структурна схема спрощеної системи регулювання швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження з підлеглим регулюванням.

Прийняті на рис.1.2 позначення функціональних елементів, що виконують наступні логічні дії:

$$W_{\Phi}(s) = \frac{1}{T_{\Phi}s + 1};$$

$$W_{PC}(s) \text{ та } W_{PT}(s);$$

$$W_Y(s) = \frac{k_Y}{T_Ys + 1};$$

k_c - коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом;

$k_{ш}$ - коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю.

Передавальна функція двигуна постійного струму в результаті перетворень представлена у вигляді двох логічних і функціональних ланок $W_{д1}(s)$ в контурі струму і $W_{д2}(s)$ в контурі швидкості.

1.3 Визначальні властивості системи відображення електромагнітних та електромеханічних процесів

Від їх властивостей в значній мірі залежить відображення процесів, що відбуваються в електромеханічній системі в порівнянні з дійсними. Тому при дослідженні їх можливо використовувати для визначення поточного технічного стану двигуна і передбачити динаміку розвитку небажаних процесів та діагностувати поточний технічний стан обладнання.

Приведені складові в аналітичному представленні мають наступний вид:

$$W_{д1}(s) = \frac{1/R_{я\Sigma}}{T_{я}s + 1},$$

для випадку, невраховуваного впливу внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС, тобто при $T_{EM} \gg T_{я}$, або

$$W_{Д1}(s) = \frac{1/R_{Я\Sigma}}{1 + T_{Я}s + 1/T_{ЕМ}s}$$

з урахуванням впливу зворотного зв'язку по ЕРС

$$W_{Д2}(s) = \frac{R_{Я\Sigma} k_{Д}}{T_{ЕМ}s},$$

$$k_{Д} = \frac{1}{c_e},$$

$$R_{Я\Sigma} = R_{ЯД} + R_{Ш},$$

де $R_{Ш}$ - опір зворотного зв'язку по струму.

1.4 Розрахунок контуру струму

Розрахунок контуру струму починається з внутрішнього контуру - контуру струму. У цьому контурі, в якості компенсуючої ланки або певної частини об'єкта, приймається передавальна функція двигуна $W_{Д1}(s)$, яка структурно входить в цей контур. Некомпенсуючою ланкою є підсилювач, постійну часу якого приймаємо за малу постійну часу контуру струму. Тобто $T_{\muт} = T_y$, де $T_{\muт}$ - мала некомпенсуюча постійна часу контуру струму. Тоді, відповідно до викладеного вище, вирішується завдання визначення передавальної функції регулятора струму $W_{РС}(s)$. При цьому вравуються умови отримання передавальної функції розімкнутого контуру струму $W_{КС}(s)$ у вигляді одноразово інтегруючої системи, тобто

$$W_{КС}(s) = \frac{1}{T_0 s (T_{\muс} s + 1)},$$

де T_0 – параметр, який визначається налаштуванням регулятора.

Відомо, що динамічні якості контуру визначаються видом передавальної функції замкнутого контуру. Для замкнутого контуру струму маємо

$$W_{\text{ЗКС}}(s) = \frac{1/k_T}{T_0 s(T_{\text{мс}} s + 1) + 1} = \frac{1/k_T}{T_0 T_{\text{мс}} s + T_0 + 1}. \quad (1.1)$$

Вираз (1.1) може бути представлений як передавальна функція стандартної коливальної ланки:

$$W_{\text{ЗКС}}(s) = \frac{1/k_T}{T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1},$$

$$T = \sqrt{T_0 T_{\text{мс}}},$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_0}{T_{\text{мс}}}},$$

де T - постійна часу коливального ланки;

ζ - коефіцієнт загасання (або демпфування) коливального ланки.

1.5 Граничний випадок аперіодичного процесу

При $\zeta = 1$, тобто при $T_0 = 4T_{\text{мс}}$ маємо граничний випадок аперіодичного процесу, що називають аперіодичною ланкою. Доцільно відзначити, що в цьому випадку можливо використовувати граничні умови математичної моделі електромеханічної системи.

Однак при виборі співвідношення

$$T_0 = 2T_{\text{мс}},$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2T_{\mu c}}{T_{\mu c}}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707$$

забезпечується більша швидкодія, оскільки в технічних системах тривалість процесу визначається часом входження в зону сталого режиму з точністю $\pm 5\%$.

У випадку $T_0 = 2T_{\mu c}$ та $\zeta=0.707$ маємо коливальний процес, але з максимальним перегулюванням всього на 4.3 %, оскільки в цьому випадку швидкодія буде вищою в порівнянні з випадком при $T_0 = 4T_{\mu c}$. Налаштування контуру на співвідношення $T_0 = 2T_{\mu c}$ та $\zeta = 0.707$ є налаштуванням на модульний оптимум (МО). Отже, для контуру струму маємо:

$$W_{KC}(s) = \frac{1}{2T_{\mu T} s(T_{\mu T} s + 1)},$$

а так як

$$T_{\mu T} = T_Y,$$

то

$$W_{KC}(s) = \frac{1}{2T_Y s(T_Y s + 1)}. \quad (1.2)$$

З іншого боку, з структурної схеми, що приведена на рис. 1.2) маємо:

$$W_{KC}(s) = W_{PC}(s)W_Y(s)W_{ДІ}(s)k_T,$$

$$W_{PT}(s) = \frac{W_{KC}(s)}{W_Y(s)W_{ДІ}(s)k_T}. \quad (1.3)$$

Підставивши в (1.3) вирази передавальних функцій всіх ланок, а $W_{KC}(s)$ з (1.2), отримаємо передавальну функцію регулятора.

При цьому прийнято $W_{Д1}(s)$ без урахування впливу ЕРС, так як в нашому випадку $T_{EM} \gg T_{я}$:

$$W_{PC}(s) = \frac{1}{2T_y s (T_y s + 1)} \frac{(T_y s + 1)(T_{я} s + 1) R_{я\Sigma}}{k_y k_T} =$$

$$= \frac{T_{я} s + 1}{2T_y s} \frac{R_{я\Sigma}}{k_y k_T},$$

$$W_{PC}(s) = \frac{T_2 s + 1}{T_1 s} = k_{PC} + \frac{1}{T_1 s},$$

де $T_2 = T_{я}$;

$$T_1 = 2T_y \frac{k_y k_T}{R_{я\Sigma}};$$

$$k_{PC} = \frac{T_2}{T_1}.$$

1.6 Розрахунок контуру швидкості

Розрахунок контуру швидкості виконується в приведеній нижче послідовності.

Контур швидкості включає в себе замкнений контур струму. Структурна схема якого показана на рис. 1.3.

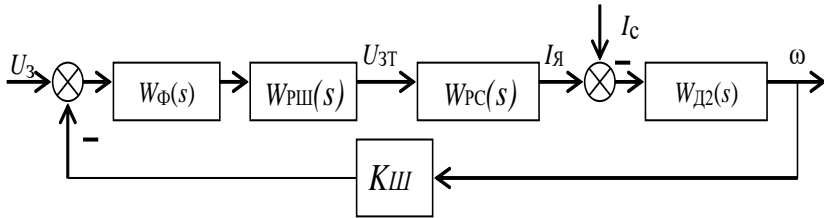


Рисунок 1.3 - Структурна схема контуру швидкості.

При налаштуванні контуру швидкості на модульний оптимум передавальна функція контуру повинна задовольняти наступним умовам:

$$W_{\text{КШ}}(s) = \frac{1}{2T_{\mu\text{ш}}s(T_{\mu\text{ш}} + 1)}$$

де $T_{\mu\text{ш}}$ - некомпенсуюча мала постійна часу контуру швидкості.

З структурної схеми, що приведена рис. 1.3 маємо

$$W_{\text{КШ}}(s) = W_{\Phi}(s)W_{\text{РШ}}(s)W_{\text{ЗКШ}}(s)W_{\text{Д2}}(s)k_{\text{ш}}. \quad (1.4)$$

З (1.4) знаходимо передавальну функцію регулятора швидкості:

$$W_{\text{РШ}}(s) = \frac{W_{\text{КШ}}(s)}{W_{\Phi}(s)W_{\text{ЗКШ}}(s)W_{\text{Д2}}(s)k_{\text{ш}}}, \quad (1.5)$$

де

$$W_{\text{ЗКШ}}(s) = \frac{1/k_{\text{ш}}}{2T_{\text{y}}s(T_{\text{y}}s + 1) + 1} \approx \frac{1/k_{\text{ш}}}{2T_{\text{y}}s + 1}.$$

Доцільно відзначити, що при таких умовах маємо наближення в межах певної похибки.

Тоді, прийнявши за малу некомпенсуючу постійну часу контуру швидкості $T_{\mu\text{ш}}$ величину, що дорівнює сумі малої постійної часу контуру струму $2T_y$ і постійної часу фільтра T_ϕ , т. е.

$$T_{\mu\text{ш}} = 2T_y + T_\phi,$$

отримаємо з (1.5) передавальну функцію регулятора швидкості

$$W_{\text{РШ}}(s) = \frac{T_{\text{ЕМ}}}{2(2T_y + T_\phi)} \frac{k_c}{R_y k_d k_{\text{ш}}} = k_{\text{РШ}}. \quad (1.6)$$

Таким чином, при налаштуванні контуру швидкості на модульний оптимум отримуємо П-регулятор з коефіцієнтом передачі кРШ, що визначається виразом (1.6).

1.7 Якість системи стабілізації швидкості

Найважливішим показником, що характеризує якість системи стабілізації швидкості, є статична точність її роботи, тобто значення сталої помилки при впливі, що обурює процес. Розрахувати встановлену помилку за керуючим та обурюючим впливами можливо шляхом використання передавальні функції системи за сигналом помилки.

Однак простіше й наочніше їх можна виразити з рівняння рівноваги проходження сигналів в досліджуваній структурній схемі. Відповідно до рис.1.3 можливо записати наступне рівняння :

$$\left[(\Delta U_3(s) - \Delta \omega(s) k_{\text{ш}}) W_\phi(s) W_{\text{РШ}}(s) W_{\text{ЗКС}}(s) - \Delta I_{\text{ш}}(s) \right]^* \\ * W_{\text{Д2}}(s) = \Delta \omega(s) \quad (1.7)$$

Рівняння (1.7) записано з врахуванням зростання впливу керуючих $\Delta U_3(s)$ та обурюючих $\Delta I_{\text{ш}}(s)$ впливів. Виразити передавальні

функції з врахуванням відповідних впливів можливо отримати, вважаючи $\Delta I_{\text{ш}}(s) = 0$ або $\Delta U_3(s) = 0$.

Далі, спрямувавши $s \rightarrow 0$, отримати значення сталих помилок. Поклавши $\Delta U_3(s) = 0$, знайдемо з (1.7) відношення $\Delta \omega(s)/\Delta I_{\text{ш}}(s)$ та після підстановки в нього виразів для всіх вхідних передавальних функцій і спрощень отримаємо

$$\frac{\Delta \omega(s)}{\Delta I_{\text{сш}}(s)} = \frac{W_{\text{Д2}}(s)}{1 + W_{\Phi}(s)W_{\text{ПШ}}(s)W_{\text{ЗКС}}(s)W_{\text{Д2}}(s)k_{\text{ш}}},$$

$$\frac{\Delta \omega(s)}{\Delta I_{\text{ш}}(s)R_{\text{Я}}k_{\text{Д}}} = -\frac{2(2T_{\text{Y}} + T_{\Phi})}{T_{\text{ЕМ}}} \frac{(T_{\Phi}s + 1)(2T_{\text{Y}}s + 1)}{s(T_{\Phi}s + 1)2(2T_{\text{Y}} + T_{\Phi})(2T_{\text{Y}}s + 1) + 1}$$

і враховуючи, що

$$\Delta I_{\text{с}}(s)R_{\text{Я}}k_{\text{Д}} = \Delta \omega_{\text{с}}(s),$$

отримаємо

$$\frac{\Delta \omega(s)}{\Delta \omega_{\text{ш}}(s)} = -\frac{2(2T_{\text{Y}} + T_{\Phi})}{T_{\text{ЕМ}}} \frac{(T_{\Phi}s + 1)(2T_{\text{Y}}s + 1)}{s(T_{\Phi}s + 1)2(2T_{\text{Y}} + T_{\Phi})(2T_{\text{Y}}s + 1) + 1}. \quad (1.8)$$

В сталому режимі ($s \rightarrow 0$) відносний перепад швидкості $\Delta \omega/\Delta \omega_{\text{ш}}$ визначається з (1.8) при $s \rightarrow 0$

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_{\text{ш}}} = \left| \frac{2(2T_{\text{Y}} + T_{\Phi})}{T_{\text{ЕМ}}} \right|,$$

де $\Delta \omega_{\text{ш}}$ - природний статичний перепад швидкості в залежності від навантаження, що прикладене до електромеханічної системи чи об'єкта.

1.8 Підвищення порядку астатизму системи

Якщо отримане таким чином значення помилки не відповідає технічним вимогам, необхідно підвищити порядок астатизму в тій частині системи, яка входить в ліву частину від місця дії обурюючого впливу (див. рис. 1.3).

Найчастіше в цьому випадку переходять до настроювання контуру швидкості на симетричний оптимум (СО), тобто використовують в якості регулятора швидкості ПІ-регулятор. У нашому випадку

$$W_{\text{ПШ}}(s) = \frac{1 + 4(2T_y + T_\Phi)s}{4(2T_y + T_\Phi)s} \frac{T_{\text{ЕМ}}}{2(2T_y + T_\Phi)} \frac{k_c}{R_{\text{Я}}k_{\text{Д}}k_{\text{Ш}}}.$$

При налаштуванні контуру швидкості на симетричний оптимум в системі спостерігається значне збільшення динамічної помилки (перерегулювання) за керуючим впливом. Воно обумовлене наявністю в регуляторі швидкості форсуючої ланки з передавальною функцією

$$W(s) = 1 + 4(2T_y + T_\Phi)s.$$

Для того щоб перехідний процес відповідав налаштуванню контуру на модульний оптимум, необхідно на вхід електромеханічної системи перед передавальною функцією вхідного впливу включити ланку з передавальною функцією, яка є зворотною передавальній функції форсуючої ланки, тобто

$$W_{\text{ВХ}}(s) = \frac{1}{1 + 4(2T_y + T_\Phi)s}.$$

Дана вхідна ланка $W_{\text{ВХ}}(s)$ відіграє роль задатчика інтенсивності. Структурна схема з вхідною ланкою представлена на рис. 1.4.

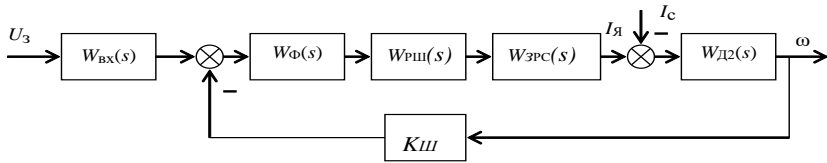


Рисунок 1.4 - Структурна схема системи регулювання швидкості з вхідною ланкою.

1.9 Послідовність виконання роботи.

Досконало повторити теоретичні основи і методи систем автоматичного керування і регулювання відносно електромеханічних систем та об'єктів.

Чітко представити структурне і конструктивне рішення певної електромеханічної системи з мікропроцесорними і програмними засобами автоматизованого керування в статичних і динамічних режимах навантаження.

Ознайомитися зі змістом роботи і представити послідовність виконання з дотриманням технічних умов.

Синтезувати регулятор внутрішнього контуру системи управління, що забезпечує налаштування контуру на модульний (технічний) оптимум (МО), відповідно до структурної схема, що показана на рис. 1.2 та варіанта завдання (табл. 1.1).

Синтезувати регулятор зовнішнього контуру, що забезпечує настройку системи управління на МО.

Синтезувати регулятор зовнішнього контуру, що забезпечує настроювання системи управління на симетричний оптимум (СО).

Набрати схему моделі внутрішнього контуру і зняти його перехідну характеристику при вхідному, впливі, що дорівнює 10.

Скласти схему зовнішнього контуру, оптимізованого по МО.

Зняти перехідну характеристику при вхідній дії, рівному 10.

Подати сигнал збурюючої дії, рівний 10, і зняти помилку регулювання в усталеному режимі.

Виконати дослідження, аналогічні п.6, при налаштуванні зовнішнього контуру на СО.

Побудувати зняті перехідні характеристики контурів регулювання в реальному масштабі часу. Визначити перерегулювання

вихідної величини і час при якому вихідна величина в перший раз досягає сталого значення.

Розрахувати теоретично і побудувати асимптотичні логарифмічні амплітудні частотні характеристики для розімкненого зовнішнього контуру при оптимізації по МО і СО.

1.10 Варіанти похідних даних для виконання відповідної роботи

Після підтвердження знання теоретичного матеріалу аспірант (магістр) допускається до безпосереднього виконання лабораторної роботи.

Похідні дані отримуються із табл.1.1 (кожному певний варіант)

Таблиця 1.1

№ з/п	K_U	T_U, c	K_C	$K_{Ш}$	R_Y	T_Y, c	T_{EM}, c	K_d
1.	0,75	1,4	1,5	0,36	-	0,5	1	1
2.	0,5	1,5	1,1	0,36	-	0,5	1	1
3.	0,5	1,4	1,3	0,5	-	0,7	1,4	1,5
4.	1	1,2	0,8	1,5	-	0,3	0,8	0,5
5.	1	1,2	0,8	2	-	1	2	0,7
6.	0,5	1,2	1,5	2	-	1	1,5	0,7
7.	1,5	1	1,8	0,64	0,5	1,2	0,4	0,05
8.	1,8	1	1,2	1	1,5	1,2	0,6	0,01
9.	2,5	1,6	0,8	0,8	1	0,6	0,6	0,03
10.	1,5	1,4	1,4	0,35	0,3	0,4	0,2	0,4
11.	0,8	2,9	1,6	0,35	0,3	0,4	0,2	0,5
12.	1,9	2	1,6	0,3	0,3	0,4	0,2	1,1
13.	1,5	1	1	0,5	0,5	1,2	0,1-	1
14.	1,5	1	1,5	0,8	0,5	1,5	0,5	1,5
15.	1,5	1,5	1,8	0,9	0,3	1,2	0,4	1,5
16.	1	1,5	1,3	0,5	0,5	1,2	0,1	2,5
17.	1	1	0,8	1	0,5	1	0,1	2,3
18.	з	1	1,2	0,5	0,8	1,6	0,1	3

1.11 Умови виконання дослідження

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері.

Дослідження системи проводиться в програмному комплексі MATLAB з використанням набору інструментаріїв візуального середовища моделювання SIMULINK.

1.12 Зміст звіту про виконання роботи

Зміст про виконання роботи представляється у електронному варіанті на паперовому форматі А4 з урахуванням вимог ЄСКД та нормативної і технічної документації до наукових робіт.

У звіті приводяться:

- короткі теоретичні відомості і методи досягнення поставленої мети;
- структурні схеми які використано при виконанні роботи з характеристикою внутрішніх і зовнішніх контурів регулювання, а також розрахунків параметрів моделі;
- результати синтезу регуляторів внутрішнього і зовнішнього контурів регулювання;
- графічні залежності між визначальними параметрами в перехідних і сталих режимах, що отримані з використанням пакету MATLAB;
- обґрунтовані і прокоментовані показники якості роботи електромеханічної системи;
- порівняльний аналіз та висновки по результатам роботи.

1.13 Контрольні питання до виконання завдання

Відповіді на контрольні питання необхідно підготувати до захисту результатів наукового дослідження в процесі спілкування.

Як виконується побудова систем підпорядкованого регулювання? Що входить до складу контурів регулювання?

Чому на практиці не застосовують більше трьох контурів регулювання?

Що повинен забезпечувати регулятор в системі підлеглого регулювання координат?

Написати передавальну функцію регулятора при налаштуванні і -го контуру на модульний оптимум.

Від чого залежать передавальна функція і властивості регулятора при налаштуванні на модульний оптимум?

Якою буде передавальна функція регулятора, якщо об'єкт регулювання представлений коливальною ланкою? (Інерційний, інтегруючим?)

Чому в системі ТП-Д існує два контури регулювання в підлеглому регулюванні? Які це контури?

Які допущення приймають при налаштуванні контуру регулювання якірного струму?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Бесекерский В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М., «Наука», 1975, §18.1–18.4, §18.6.

2.Воронов А. А. Основы теории автоматического управления / А. А. Воронов. – М., «Энергия», 1966, §6.1–6.3, 6.5, 6.6.

3.Босак А. В., Кулаковський Л. Я. Теорія автоматичного керування: нелінійні системи та оптимальне керування / А. В. Босак, Л. Я. Кулаковський. – Київ., КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, – 34с.

4.Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. М.: СОЛОН – Пресс. – 2003, §1.10, §1.12, §1.14, §3.9.

5.Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. Підручник . – К. : Либідь, 1997, – 544с.

6.Куо Б. Теория и практика цифровых систем управления / Б. Куо. – М.: Машиностроение, 1986. – 448с.

7.Зіновкін В.В. Різкозмінні навантаження та їх вплив на електротехнічне обладнання і методи дослідження: Навчальний посібник. - Запоріжжя ЗНТУ 2017. - 374 с.

8.Zinovkin V. Research of electromagnetic parameters of complex electromechanical system under hardly varying loads Variable Load / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 267-272, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160022.

9.Zinovkin v.v. Research of the non-sinusoidal loads impact on the operability of tap-changers contacts / V.V.Zinovkin, O.V. Blyzniakov // Електротехніка та електроенергетика. науковий журнал. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – № 2. – 45-48 с.