

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ, РОЗРОБЛЕНИХ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ЗВОРОТНИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ

Розглянуто стійкість систем автоматичного керування координатами електропривода з синтезованими законами керування на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій за алгебраїчним критерієм Гурвица. Визначено залежність коефіцієнтів регулятора від параметрів системи автоматичного керування.

Рассмотрена устойчивость систем автоматического управления координатами электропривода с синтезированными законами управления на основе концепции обратных задач динамики при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергии за алгебраическим критерием Гурвица. Определена зависимость коэффициентов регулятора от параметров системы автоматического управления.

The stability of electric drive automatic control systems coordinates with the synthesized control laws based on the concept of inverse dynamics problems with minimizing of local instantaneous energy values functionals for an algebraic criterion of Hurwitz is considered and determined the dependence of the controller parameter coefficients of the automatic control system

Вступ. Одним із шляхів вирішення актуальної задачі підвищення якості систем керування є застосування законів керування на основі концепції зворотних задач [2], розвиток яких обумовлений сучасною проблемою керування складними об'єктами, у ході якого необхідно знайти керуючу дію по математичній моделі об'єкта, його початковому стану й заданій траєкторії руху.

Аналіз попередніх досліджень. Однією з проблем застосування законів керування координатами електроприводів, отриманих на основі концепції зворотної задачі динаміки, є забезпечення стійкості систем керування в залежності від параметрів регуляторів та динамічних властивостей внутрішніх контурів керування [3].

Мета роботи. Дослідження стійкості систем керування та закріплення теоретичних положень, отриманих при аналізі систем керування на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій.

Матеріал і результати дослідження. Методика дослідження стійкості систем керування координатами електроприводів викладається на прикладі систем з підпорядкованою структурою, локальний контур яких зображено на рис. 1 [1].

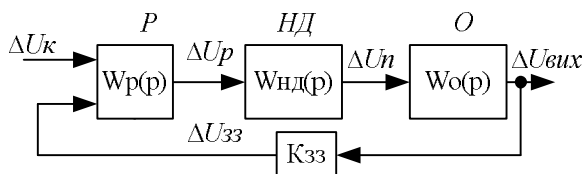


Рис.1. Схема контуру керування

Контур керування складається з об'єкту регулювання O у вигляді інтегруючої $W_o(p)=k_o/(pT_0)$ або аперіодичної $W_o(p)=k_o/(pT_0+I)$ ланки з сталою часу T_0 та коефіцієнтом передачі k_o , на вхід якого подається сигнал керування ΔU_n . Ланка з невизначеною динамікою

H_D , описується аперіодичною ланкою $W_{нд}(p)=k_n/(pT_\mu+I)$ з коефіцієнтом передачі k_n та малою сталою часу T_μ .

Бажана якість керування замкнутого контуру для об'єкту виду $W_o(p)=k_o/(pT_0)$ задається диференціальним рівнянням першого порядку, що забезпечує монотонний перехідний процес з астатизмом першого порядку [3] $\Delta \dot{z} + \gamma_0 z = \gamma_0 \Delta U_k$. Ступінь наближення реального процесу до бажаного оцінюється функціоналом $G(u) = (\Delta \dot{z}(t) - \Delta \dot{U}_{вих}(t, u))^2 / 2$, що представляє похідну енергії.

При знаходженні керуючої функції $u = u(\Delta U_{вих})$ класичними методами, за умови абсолютного мінімуму функціонала $\min_u G(u) = 0$, отримується традиційний закон керування компенсаційного типу, для реалізації якого необхідна точна інформація про структуру та параметри об'єкту, тобто функції $f(\Delta U_{вих}, u)$. Відхилення параметрів об'єкту від розрахункових значень призводить до погіршення якості керування.

Цей недолік усувається, якщо відмовитися від точного виконання умови $\min_u G(u) = 0$, а обмежитися вимогою, щоб значення функціонала належало околиці екстремуму-мінімуму, що забезпечує допустиму за технічними умовами динамічну похибку.

Для цього мінімізація функціоналу здійснюється за градієнтною схемою першого порядку [3]

$$\frac{du(t)}{dt} = -\lambda \frac{dG(u)}{du}, \text{ де } \lambda > 0 \text{ – константа.}$$

Після цього закон керування (регулятор P) описується рівняннями

$$\begin{aligned} \Delta \dot{\epsilon}_p &= k_p (\Delta z - \Delta U_{зз}) \\ \Delta z &= \gamma_0 \int (\Delta U_k - \Delta U_{зз}) dt \end{aligned} \quad (1)$$

де k_p – коефіцієнт підсилення регулятора; Δz – приріст вихідної координати при русі по заданій траєкторії; γ_0 – коефіцієнт що задає необхідну тривалість перехідного процесу $t_{nm} = 3/\gamma_0$.

На вхід регулятора подаються сигнали керування ΔU_k та зворотного зв'язку $\Delta U_{зз}$. Зображений контур рис. 1 описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta U_{вих} = \frac{k_0}{T_0 p} \Delta U_n; \\ \Delta U_n = \frac{k_p}{T_0 p + 1} \Delta U_p; \\ \Delta \dot{U}_p = k_p (\gamma_0 \int (\Delta U_k - \Delta U_{зз}) dt - \Delta U_{зз}); \\ \Delta U_{зз} = k_{зз} \Delta U_{вих} \end{cases}, \quad (2)$$

де $p = d/dt$; ΔU_p – приріст напруги на виході регулятора; $\Delta U_{вих}$ – приріст регульованої величини.

На основі (2) отримується диференціальне рівняння в операторній формі замкнутого контуру керування:

$$p^3 \Delta U_{вих} + p^2 \frac{1}{T_0} \Delta U_{вих} + p \frac{k_0 k_n k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} \Delta U_{вих} + \frac{k_0 k_n \gamma_0 k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} \Delta U_{вих} - \frac{k_0 k_n k_p \gamma_0}{T_0 T_0 \mu} \Delta U_k = 0, \quad (3)$$

Усталений рух замкнутого контуру є асимптотично стійким, бо для його характеристичного рівняння

$$p^3 + p^2 \frac{1}{T_0} + p \frac{k_0 k_n k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} + \frac{k_0 k_n \gamma_0 k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} = 0, \quad (4)$$

згідно з критерієм Гурвица виконуються наступні нерівності:

$$\frac{1}{T_0} > 0; \frac{k_0 k_n k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} > 0; \frac{k_0 k_n \gamma_0 k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} > 0; \frac{1}{T_0} > \gamma_0. \quad (5)$$

Система є стійкою навіть при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення регулятора $k_p \rightarrow \infty$, що видно з рівняння (3) в результаті граничного переходу

$$\begin{aligned} \frac{T_0 T_0 \mu}{k_0 k_n k_p} p^3 \Delta U_{вих} + p^2 \frac{T_0}{k_0 k_n k_p} \Delta U_{вих} + \\ + p k_{зз} \Delta U_{вих} + \gamma_0 k_{зз} \Delta U_{вих} - \gamma_0 \Delta U_k \Rightarrow \\ \Rightarrow p k_{зз} \Delta U_{вих} + \gamma_0 k_{зз} \Delta U_{вих} - \gamma_0 \Delta U_k. \end{aligned} \quad (6)$$

Як видно з (6), із збільшенням коефіцієнта підсилення регулятора k_p динамічні процеси в контурі наближаються до бажаних $\Delta \dot{z} + \gamma_0 z = \gamma_0 \Delta U_k$.

Для об'єкту у вигляді аперіодичної ланки $W_o(p) = k_o / (p T_0 + 1)$ характеристичне рівняння замкнутого контуру керування, що отримується відповідно до вищенаведеної методики,

$$p^3 + p^2 \frac{1}{T_0} + p \left(\frac{k_0 k_n k_p k_{зз} + 1}{T_0 T_0 \mu} \right) + \frac{k_0 k_n \gamma_0 k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} = 0. \quad (7)$$

Для стійкості контуру керування (7) згідно з алгебраїчним критерієм Гурвица повинна виконуватися наступна нерівність

$$\frac{1}{T_0} > 0; \frac{k_0 k_n k_p k_{зз} + 1}{T_0 T_0 \mu} > 0; \frac{k_0 k_n \gamma_0 k_p k_{зз}}{T_0 T_0 \mu} > 0; \quad (8)$$

$$(1 + 1 / k_0 k_n k_p k_{зз}) / T_0 > \gamma_0.$$

Висновки. Результати дослідження стійкості систем керування на основі концепції зворотної задачі динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій згідно з алгебраїчним критерієм Гурвица показують, що мала стала часу T_0 ланки з невизначеною динамікою обмежує максимально-допустиму бажану швидкодію контуру керування, яка задається коефіцієнтом γ_0 . Повне наближення

реальної та бажаної якості керування має місце при коефіцієнті підсилення регулятора $k_i \rightarrow \infty$. Звичайно, при допустимому з точки зору технічної реалізації коефіцієнті підсилення існує похибка керування, максимально допустиме значення якої встановлюється технічними вимогами.

Список використаної літератури

1. Башарин А.В. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов / А.В.Башарин, В.А.Новиков, Г.Г.Соколовский – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982 – 392 с
2. Крутько П.Д. Робастно устойчивые структуры управляемых систем динамической точности. Алгоритмы и динамика управления движением модельных объектов / П.Д.Крутько // Изв. РАН. ТиСУ. – 2005 – С.120-140.
3. Островерхов М.Я. Метод синтеза регуляторов электромеханических систем на основе концепции зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії / М.Я.Островерхов/ Вісн.НТУ “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”.– 2008. – № 30. – С.105-110.

Отримано 07.07.2011



Островерхов
Микола Якович,
канд. техн. наук, доцент
каф.АЕМС-ЕП Нац. техн.
ун-ту України "КПІ",
пр. Перемоги, 37,
м. Київ, Україна, 03056,
050-2541067, E-mail:
ostroverkhov@fea.kpi.ua



Бурик
Микола Петрович,
аспірант каф. АЕМС-ЕП
Нац. техн. ун-ту України
"КПІ", пр. Перемоги, 37,
м. Київ, Україна, 03056,
096-8490949,
E-mail: burykM@ukr.net