Островерхов М.Я. Опубліковано в журналі *Електротехнічні та комп'ютерні системи* № 03 (79), 2011 017-018
Автоматизовані електромеханічні системи

УДК 681.516.32
М.Я. Островерхов, канд. техн. наук,
М.П. Бурик

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

Анотація. *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.*

Н.Я. Островерхов , канд. техн. наук
Н.П. Бурик

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, РАЗРАБОТАННЫХ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ

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

N.Y. Ostroverhov, PhD
N. P. Buryk

INVESTIGATION OF STABILITY MANAGEMENT SYSTEMS, RAZRABOTANNЫH ON THE BASIS OF THE CONCEPT OBRATNЫH DYNAMICS PROBLEMS

Abstract. *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].

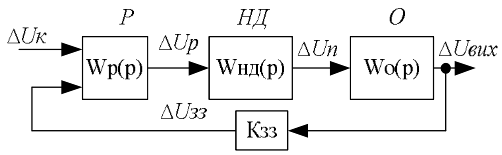

Рис.1. Схема контуру керування

Контур керування складається з об'єкту регулювання *O* у вигляді інтегруючої $Wo(p)=k_0/(pT_0)$ або аперіодичної $Wo(p)=k_0/(pT_0+1)$ ланки з сталою часу *To* та коефіцієнтом передачі k_0, на вхід якого подається сигнал керування ΔUn. Ланка з невизначеною динамікою *НД*, описується аперіодичною ланкою $W{н}{д}(p)= =k_n/(pT\mu+1)$ з коефіцієнтом передачі k_n та малою сталою часу $T\mu$.

Бажана якість керування замкнутого контуру для об'єкту виду $Wo(p)=k_0/(pT_0)$ задається диференційним рівнянням першого порядку, що забезпечує монотонний перехідний процес з астатизмом першого порядку [3] $\Delta\dot{z}+\gamma_0 z=\gamma_0\Delta U\kappa$. Ступінь наближення реального процесу до бажаного оцінюється функціоналом $G(u)=(\Delta\dot{z}(t)-\Delta\acute{U}вих(t,u))^2/2$, що представляє похідну енергії.При знаходженні керуючої функції $u = u(\Delta Uвих)$ 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 $f(\Delta Uвих,u)$. 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] $\dfrac{du(t)}{dt}=-\lambda\dfrac{dG(u)}{du}$, де $\lambda>0$ – константа.

Після цього закон керування (регулятор P) описується рівняннями

$$\begin{aligned}&\Delta U\eth = k_\eth(\Delta z-\Delta U\varsigma\varsigma)\\&\Delta z=\gamma_0\int(\Delta U\hat{e}-\Delta U\varsigma\varsigma)dt\end{aligned}\ , \qquad (1)$$

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

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

$$\begin{cases}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}=\dfrac{k_0}{T_0 p}\Delta U\ddot{i}\ ;\\ \Delta U\ddot{i}=\dfrac{k_n}{T\mu p+1}\Delta Up\ ;\\ \Delta Up=k_\eth(\gamma_0\int(\Delta U\hat{e}-\Delta U\varsigma\varsigma)dt-\Delta U\varsigma\varsigma);\\ \Delta U\varsigma\varsigma=k_{\varsigma\varsigma}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}\end{cases}\ , \qquad (2)$$

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

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

$$\begin{aligned}&p^3\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+p^2\frac{1}{T\mu}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+p\frac{k_0k_nk_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+\\&+\frac{k_0k_n\gamma_0k_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}=\frac{k_0k_nk_p\gamma_0}{T_0T\mu}\Delta U\hat{e}\ .\end{aligned} \qquad (3)$$

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

$$p^3+p^2\frac{1}{T\mu}+p\frac{k_0k_nk_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}+\frac{k_0k_n\gamma_0k_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}=0\ , \qquad (4)$$

згідно з критерієм Гурвица виконуються наступні нерівності:

$$\frac{1}{T\mu}>0;\ \frac{k_0k_nk_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}>0;\ \frac{k_0k_n\gamma_0k_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}>0;\ \frac{1}{T\mu}>\gamma_0\ . \qquad (5)$$

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

$$\begin{aligned}&\frac{T_0T\mu}{k_0k_nk_p}p^3\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+p^2\frac{T_0}{k_0k_nk_p}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+\\&+pk_{\varsigma\varsigma}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+\gamma_0k_{\varsigma\varsigma}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}=\gamma_0\Delta U\hat{e}\Rightarrow\\&\Rightarrow pk_{\varsigma\varsigma}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}+\gamma_0k_{\varsigma\varsigma}\Delta U\hat{a}\grave{e}\tilde{o}=\gamma_0\Delta U\hat{e}\ .\end{aligned} \qquad (6)$$

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

Для об'єкту у вигляді аперіодичної ланки $Wo(p)=k_0/(pT_0+1)$ характеристичне рівняння замкнутого контуру керування, що отримується відповідно до вищенаведеної методики,

$$p^3+p^2\frac{1}{T\mu}+p(\frac{k_0k_nk_pk_{\varsigma\varsigma}+1}{T_0T\mu})+\frac{k_0k_n\gamma_0k_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}=0\ . \qquad (7)$$

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

$$\begin{aligned}&\frac{1}{T\mu}>0;\ \frac{k_0k_nk_pk_{\varsigma\varsigma}+1}{T_0T\mu}>0;\ \frac{k_0k_n\gamma_0k_pk_{\varsigma\varsigma}}{T_0T\mu}>0;\\&(1+1/k_0k_nk_pk_{\varsigma\varsigma})/T\mu>\gamma_0\ .\end{aligned} \qquad (8)$$

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 $T\mu$ 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 $k_i\to\infty$. 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 синтезу регуляторів електромеханічних систем на основі концепції 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