

УДК 681.5

АДАПТИВНИЙ РЕГУЛЯТОР У СТРУКТУРІ СУЧАСНОГО КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Д. Ю. Шарейко, кандидат технічних наук, доцент

І. О. Шведененко, магістр

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

У статті проаналізовано використання адаптивного регулятора в сучасних комплектних електроприводах та його динамічні характеристики. Проведено синтез електроприводу з адаптивним регулятором на базі методу аналітичного конструювання. У результаті синтезу отримано динамічні характеристики.

Ключові слова: *комплектний електропривод, ПІД-регулятор, адаптивний регулятор, метод аналітичного конструювання.*

З розвитком систем керування електроприводами та впровадження їх в галузях промисловості для керування електродвигунами постало питання регулювання параметрів таких систем для досягнення бажаних показників якості керування. Ці питання вирішуються за допомогою адаптивних регуляторів.

У сучасних комплектних електроприводах адаптивні регулятори не використовують або використовують вкрай рідко. Відсутність адаптивного регулятора обумовлена тим, що в сучасних комплектних електроприводах використовуються програмовані логічні контролери, функціональна схема з яким представлена на рис.1 [1]. Зі схеми видно, що контролер отримує інформацію із кожного блоку електропривода, аналізує її та базуючись на аналізі, формує необхідні команди для електроприводу. Як зазначалося вище, адаптивний регулятор, як окремий блок у структурі сучасного комплектного електроприводу – відсутній. Його функції бере на себе окремий контролер.

У результаті такого підходу логічним стає висновок, що наявність окремого адаптивного регулятора в електроприводі є недоцільним. Однак останні дослідження таких спеціалістів,

© Шарейко Д. Ю., Шведененко І. О., 2014

як Краснодарець Л. А., Крамарь В. А., Балаканов Е. О. [2], показують, що наявність регулятора може розвантажити роботу контролера, керуючого всім електроприводом. Сучасні адаптивні регулятори можуть зробити систему керування більш робастною [2]. В дослідженнях показано, що застосування адаптивного регулятора дійсно поліпшує роботу електроприводу, але не наведено застосування адаптивних регуляторів у складі комплектного електроприводу (рис.1) та не представлено перевірку запропонованих параметрів регуляторів шляхом синтезу.

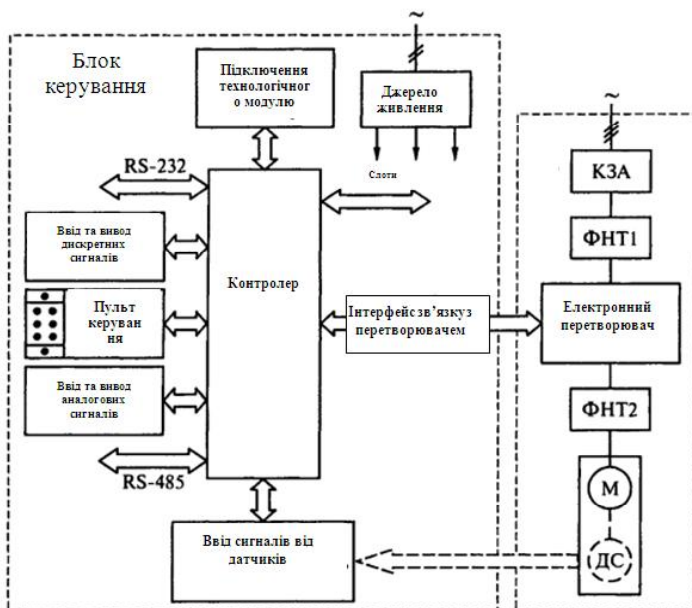


Рис. 1. Функціональна схема КЕП: КЗА – комутаційно-захисна апаратура; ФНТ1, ФНТ2 – силові модулі фільтрації, узгодження напруг та обмеження струмів на вході та виході електронного обладнання; М – електродвигун з датчиком швидкості ДС, або без нього

Метою статті є обґрунтування доцільності використання адаптивного регулятора у сучасних комплектних електроприводах.

Для реалізації мети дослідження виконано такі завдання:

- розроблено структуру сучасного КЕП з адаптивним регулятором;

- складено математичну модель для розрахунку коефіцієнтів динамічної апаратури;
- проведено чисельний експеримент щодо дослідження поведінки КЕП з різними законами регулювання.

Структура адаптивного керування

Дослідження проводили на основі класичної системи керування електроприводом, яку представлено на рис. 2. Електропривод складається з електродвигуна, який з'єднаний з механічною системою, мікроконтролерів та датчиків струму і швидкості в якості зворотних зв'язків [3]. Внутрішній контур виконує регулювання моменту двигуна і складається з силового перетворювача, електромагнітної частини двигуна, датчиків струму та регулятора моменту.

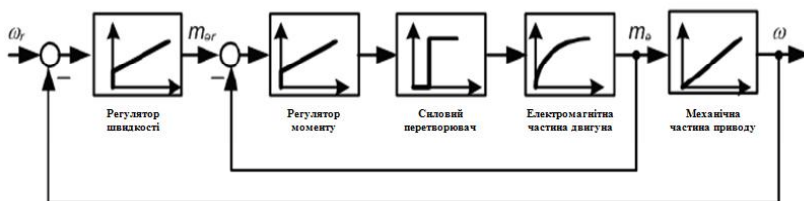


Рис. 2. Функціональна схема класичного електроприводу

Оскільки цей контур розроблений для забезпечення швидкого регулювання моменту, він може бути наближеним до еквівалентної ланки першого порядку з малою постійною часу. Завдяки цьому можна використовувати двигун як постійного, так і змінного струму. Зовнішній контур складається з механічної частини двигуна, датчика та регулятора швидкості.

Така структура є неефективною для двомасових систем керування. Тому для покращення динамічних характеристик електроприводу потрібно змінити параметри регулятора.

Параметри регулятора можна визначити за такими рівняннями [3]:

$$k_1 = T_1 T_2 T_c \omega_0^4;$$

$$k_1 = 4T_1 \zeta_r \omega_0;$$

$$k_1 = T_1 T_c \left(2\omega_0^2 + 4\zeta_r^2 \omega_0^2 - \frac{1}{T_2 T_c} - \frac{1}{T_1 T_c} \right)$$

$$k_3 = k_1 (\omega_0^2 T_2 T_c - 1),$$

де ζ_r – коефіцієнт відносного адемфування; ω_0 – резонансна частота системи; T_1 – постійна часу двигуна; T_2 – постійна часу навантажувальної машини;

$$T_1 = \frac{\Omega_N J_1}{M_N}, \quad T_2 = \frac{\Omega_N J_2}{M_N},$$

де Ω_N – номінальна швидкість двигуна; M_N – номінальний момент двигуна; J_1, J_2 – момент інерції двигуна та навантажувальної машини відповідно, T_c – постійна часу жорсткості.

$$T_c = \frac{M_N}{K_c \Omega_N},$$

де K_c – коефіцієнт жорсткості.

Чисельний експеримент. На основі схеми (рис. 2) за допомогою пакета прикладних програм **Matlab** було проведено моделювання системи стабілізації швидкості двигуна постійного струму з використанням стандартного ПІД-регулятора і принципово нового адаптивного регулятора, заснованого на методі аналітичного конструювання [2].

Структурні моделі системи з ПІД-регулятором і адаптивним регулятором представлено на рис. 3 і рис. 6 відповідно [2].

Модель ДПС побудована за рівняннями, що описують процеси в електричній машині постійного струму, які мають вигляд:

$$u_a = R_a \left(T_a \frac{di_a}{dt} + i_a \right) + e_a;$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_n;$$

$$\omega_m = \frac{d\theta}{dt};$$

$$e_a = k_E \omega_m,$$

де u_a , i_a , e_a – напруга, струм і проти-ЕРС якоря; L_a , R_a , $T_a = L_a/R_a$ – індуктивність, опір і постійна часу ланцюга якоря; ω_T , M , M_H , θ_T – кутова швидкість обертання ротора, електромагнітний момент, момент навантаження та кут повороту ротора; J , k_E – момент інерції ротора та конструктивні постійні [2].

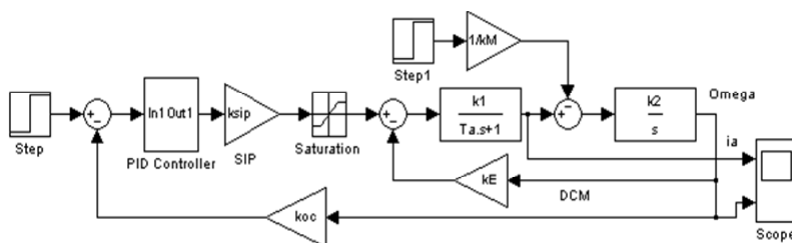


Рис. 3. Структурна модель стабілізації швидкості ДПС з ПІД-регулятором: PID-controller - ПІД-регулятор, SIP - широтно-імпульсний перетворювач з обмеженням по виходу, призначений для керування струмом якорного ланцюга, DCM - ДПС з незалежним збудженням

Підставивши в схему значення, запропоновані в [2], отримали перехідні характеристики для визначення показників якості керування.

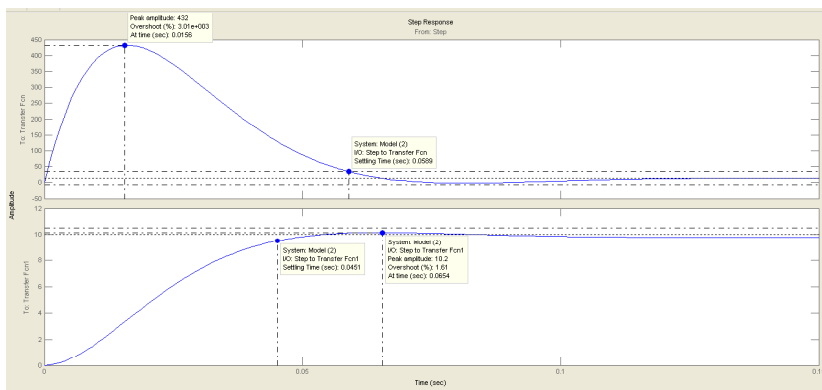


Рис. 4. Перехідні характеристики системи з ПІД-регулятором

Крива зверху відображає скачок струму якоря, знизу – кутову швидкість.

Далі було проведено заміну ПІД-регулятора на АР, структурну схему якого представлено на рис.5

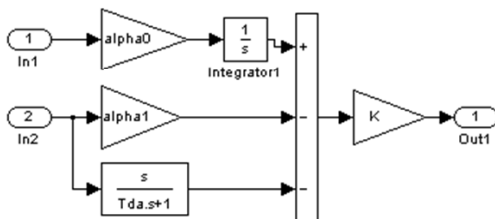


Рис. 5. Структурна схема адаптивного регулятора

Оновлену структурну схему представлено на рис. 6.

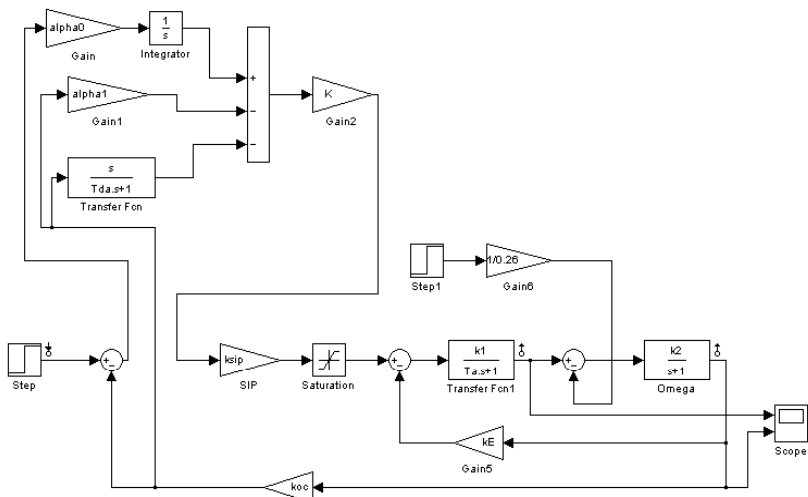


Рис. 6. Структурна схема електроприводу з адаптивним регулятором

Задаючись параметрами, запропонованими в [2], отримали перехідні характеристики струму та швидкості, за якими можна визначити час перехідного процесу. В обох випадках перерегулювання не перевищує 5% і час перехідного процесу – менше 0,06 с. Однак, в системі з АР відсутня статична

помилка, що підтверджує наявність властивості робастності (рис 4, рис 7, крива 1).

Далі було проведено синтез регулятора, за результатами якого з'ясовано, що зміна постійної часу $Td.a$. адаптивного регулятора не впливає на роботу електропривода (рис 7. крива 2) [2], проте зміна коефіцієнту $\alpha 1$ адаптивного регулятора у десять разів значно зменшує перерегулювання, яке складає **0,38%** (рис 7. крива 3), але збільшує час перехідного процесу $t = 0,6$ с. При цьому двигун плавно розганяється (рис 7. крива 4) і має значно менший кидок струму при запуску, що є бажаним аргументом для двигуна постійного струму.

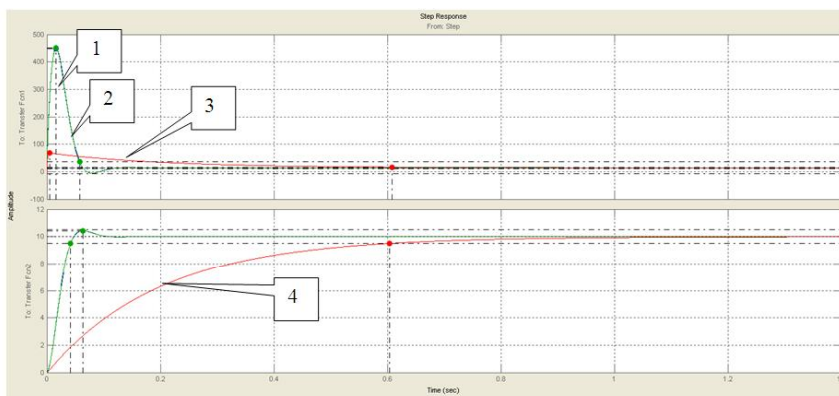


Рис. 7. Перехідні характеристики системи з АР

Висновки:

1. Адаптивний регулятор у структурі КЕП дозволяє забезпечити будь-який закон керування залежно від умов роботи електропривода та показників якості, які потрібно забезпечити. Тому можна різні конструкції перетворювачів частоти з вбудованими ПІ-, ПД-, ПІД-регуляторами замінити на уніфіковану структуру з АР.

2. Чисельний експеримент довів, що АР дозволяє отримати кращі динамічні характеристики на відміну від інших. В результаті синтезу було підтверджено оптимальність вибору параметрів регуляторів та електроприводу.

Список використаних джерел:

1. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. — 3-е изд., испр. — М. : Академия, 2007. — С. 107.
2. Краснодарец Л. А. Применение новых адаптивных регуляторов в системах стабилизации скорости двигателей постоянного тока / Л. А. Краснодарец // Вестник СевНТУ. Автоматизация процессов и управление : сб. науч. тр. — Севастополь, 2010. — Вып. 108. — С. 213—217.
3. Krzysztof Szabat and Teresa Orłowska-Kowalska. Adaptive control of the electrical drivers with the elastic coupling using Kalman filter. // Wroclaw University of Technology. — Poland, 2009. — 372 pages.
4. Герман-Галкин С. Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. — СПб. : КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.

Д. Ю. Шарейко И. О. Шведененко. Адаптивный регулятор в структуре современного комплектного электропривода.

Проанализировано использование адаптивного регулятора в современных комплектных электроприводах и его динамические характеристики. Проведен синтез электропривода с адаптивным регулятором на основе метода аналитического конструирования. В результате синтеза получены динамические характеристики.

D. Shareyko I. Shvedenenko. Adaptive controller in modern complete electric drive structure.

Analysis of using adaptive controller in modern complete electric drives and analysis of it dynamic characteristics was made. The analytical design with the help of synthesis of electric drive with adaptive controller was researched. At the result, after the relaised synthesis the new dynamic characteristics were obtained.