

УДК 681.515

Шульгин С.К., кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Луганский государственный университет имени Владимира Даля,

Синепольский Д.О., старший преподаватель, ФГБОУ ВО Луганский государственный университет имени Владимира Даля.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОКОНТУРНОЙ И ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОДНОКОЛЕСНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Аннотация: Рассмотрены особенности движителя колесного робота, его функционирования в различных условиях состояния внешней среды. Предложена математическая модель системы «привод-колесо». Проведено математическое моделирование функционирования одноконтурной и двухконтурной системы управления одноколесного мобильного робота в условиях наличия возмущающих воздействий. Выполнен сравнительный анализ параметров качества управления, осуществляемого обеими рассматриваемыми САУ.

Ключевые слова: компьютерная модель, двухконтурная система управления, электропривод постоянного тока, ПИД-регулятор, переходная характеристика.

Введение. Управление техническим объектом в независимости от числа фазовых координат, определяющих состояния объекта, его динамических характеристик и степени инерционности состоит в обеспечении точности реализации требуемого поведения в условиях наличия внешних и внутренних возмущений.

В задачу управления входит обеспечение требуемого значения управляющего воздействия, обеспечивающего заданные параметры качества управления в условиях наличия возмущающих воздействий.

Современный подход к построению робототехнических систем заключается в широком применении законченных промышленно выполненных блоков, в том числе приводов, которые в себе уже содержат некоторую локальную систему управления одним из параметров, например углом поворота или скоростью вращения [1]. При этом такая локальная система не может учесть не входящие в нее кинематические связи, присутствующие в работе, и не имеет прямого

доступа к выходной координате. Результирующая система управления роботом в целом получается многоуровневой, иерархической, с множеством вложенных контуров. При этом возникает вопрос, как об ее эффективности, так и качестве функционирования в сравнении с теоретически более простой и менее избыточной системой, построенной для объекта управления, рассматриваемого как единое целое.

Цель работы состоит в исследовании способа управления одноколесным мобильным роботом в условиях наличия внешних и внутренних возмущающих воздействий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

1. Проанализировать особенности движителя колесного робота, его функционирования в различных условиях состояния внешней среды.
2. Исследовать функционирование одноконтурной и двухконтурной системы управления одноколесного мобильного робота в условиях наличия возмущающих воздействий на основе компьютерной модели.
3. Выполнить сравнительный анализ функционирования одноконтурной и двухконтурной системы управления одноколесного мобильного робота в условиях наличия внешних и внутренних возмущающих воздействий, исходя из параметров качества управления, осуществляемого обеими рассматриваемыми САУ.

Одним из перспективных направлений в современной робототехнике являются интеллектуальные мобильные системы, в частности, автономные колесные роботы.

Применение колес в робототехнике разнообразно. Они могут использоваться для движения робота по плоской поверхности, а также для перемещения по неровной местности. Колеса помогают роботу маневрировать и изменять направление движения в нужный момент. Основные факторы, определяющие проходимость колесной машины по деформируемым грунтам, —

сцепление и сопротивление качению, которые в свою очередь зависят от площади контакта шины с почвой и глубины колеи [2].

Основной физической силой, влияющей на взаимодействие колесного робота с поверхностью контакта является сила трения, обеспечивающая сцепление колеса с поверхностью и позволяющая роботу двигаться вперед или тормозить.

Обычно, движители колесного мобильного робота оснащаются электроприводами постоянного тока, обеспечивающими требуемые вращательные моменты движителя. Также важно понимать, что приводы имеют собственную внутреннюю динамику, и не могут мгновенно реализовать команду управления.

Двигатели постоянного тока широко используются в робототехнических устройствах и являются одними из основных приводов, используемых в мобильной робототехнике.

Поскольку выходом системы «привод-колесо» мобильного робота является угловое перемещение $\theta_L(t)$ колеса, то передаточная функция привода в рассматриваемой системе в операторной форме будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\Theta_L(s)}{V_a(s)} = \frac{k_\delta}{s \cdot (T_m \cdot s + 1)},$$

где:

k_δ – передаточный коэффициент двигателя;

T_m – постоянная времени двигателя.

Ввиду того, что движитель колесного мобильного робота обладает инерцией, целесообразным является представление его передаточной функции в операторной форме в виде последовательного соединения интегрирующего и апериодического звеньев:

$$\frac{\Theta_L(s)}{\Theta_m(s)} = \frac{1}{s} \cdot \frac{k_k}{T \cdot s + 1},$$

где:

k_k – передаточный коэффициент редуктора в системе «привод-колесо»;

T – постоянная времени колеса, характеризующая степень его инерционности.

Управление системой «привод-колесо» мобильного робота может быть реализовано двумя способами:

1. В виде двухконтурной системы управления, когда контур управления приводом является подчиненным контуру управления колесом мобильного робота (рис. 1)

2. В виде одноконтурной системы управления, когда управление приводом и колесом мобильного робота осуществляется одним регулятором и система «привод-колесо» как объект управления охвачена одной обратной связью (рис. 2).

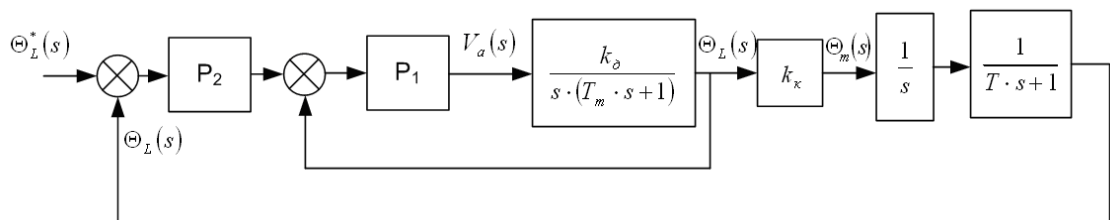


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной системы управления системой «привод-колесо» мобильного робота

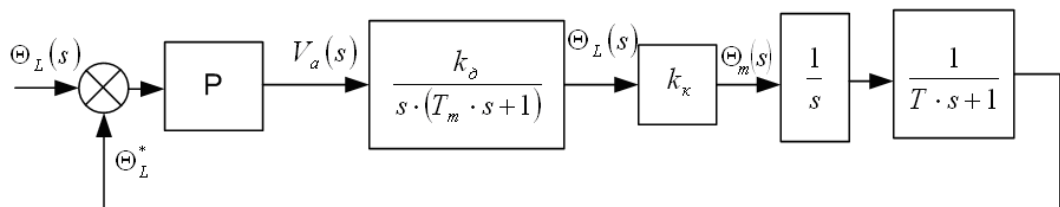


Рис. 2. Структурная схема одноконтурной системы управления системой «привод-колесо» мобильного робота

В обоих случаях в качестве регуляторов P выступают ПИД регуляторы, как наиболее универсальные, и часто реализуемые в локальных системах управления промышленно выпускаемых приводов [3, 4]. Конкретные значения параметров определялись с применением метода Циглера-Николса [5].

Параметры ПИД-регуляторов в случае двухконтурной системы управления приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры ПИД-регуляторов двухконтурной системы управления

	Коэффициенты		
	П-	И-	Д-
Внутренний контур	0,17	0,0015	0,504
Внешний контур	0,78	0,0029	46,044

Параметры ПИД-регулятора в случае одноконтурной системы управления приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры ПИД-регуляторов одноконтурной системы управления

	Коэффициенты		
	П-	И-	Д-
Внешний контур	0,002	1,609	0,57

Анализ переходных характеристик (рис. 3) показал, что процесс управления системой «привод-колесо» мобильного робота путем двухконтурного управления является более качественным, по таким показателям как время переходного процесса и величина перерегулирования.

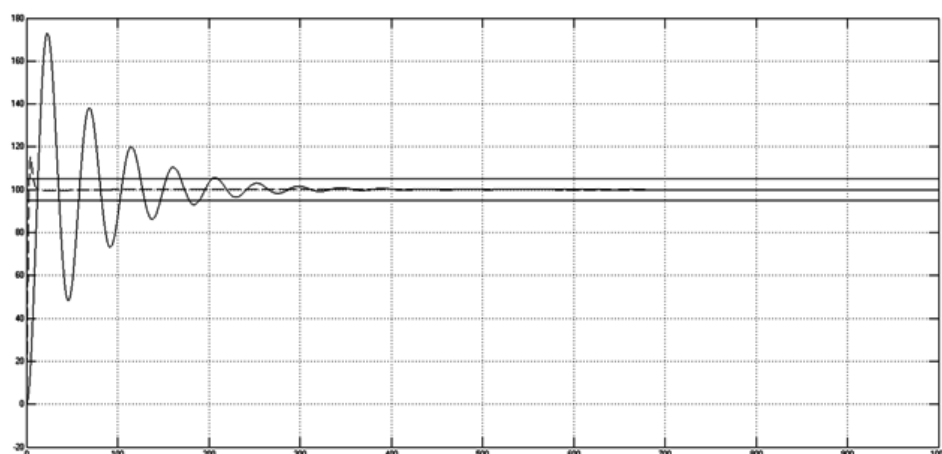


Рис.3. Переходные характеристики двухконтурной и одноконтурной систем управления

Так, в случае двухконтурной системы управления время переходного процесса $T = 10\text{с}$ и перерегулирование $\sigma = 18\%$, тогда как в случае управления системой «привод-колесо» по одному контуру время переходного процесса составило $T = 210\text{с}$ и перерегулирование $\sigma = 78\%$.

Выводы

1. Система управления с вложенным локальным контуром в применении к одноколесному мобильному роботу показала десятикратное сокращение времени регулирования и трехкратное снижение перерегулирования по сравнению с одноконтурной системой.

2. Применение в изделиях робототехники готовых приводов постоянного тока с локальным регулятором является не только экономически оправданным, но и позволяет улучшить качественные показатели системы управления роботом в целом.

Список использованных источников

1. P. Moubarak, et al., Modular and Reconfigurable Mobile Robotics, Journal of Robotics and Autonomous Systems, 60 (12) (2012) 1648—1663.
2. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин : учебник для студентов машиностроит. спец. вузов. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Машиностроение, 1990. — 352 с.
3. O'Dwyer A. PID compensation of time delayed processes 1998–2002: a survey // Proceedings of the American Control Conference, Denver, Colorado, 4–6 June 2003. P. 1494–1499.
4. Quevedo J., Escobet T. Digital control: past, present and future of PID control // Proceedings of the IFAC Workshop, Eds., Terrassa, Spain, 5–7 Apr. 2000.
5. Ziegler J.G.; Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers. Trans. ASME 1942, 64, 759–768.

Shulgin S.K., candidate of technical Sciences, assistant professor, Lugansk State University named after Vladimir Dal,

Sinepolsky D.O., senior Lecturer, Lugansk State University named after Vladimir Dal.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SINGLE-LOOP AND DUAL-LOOP CONTROL SYSTEMS FOR A SINGLE-WHEELED MOBILE ROBOT

Abstract: The features of the wheeled robot drive system and its operation under various environmental conditions are considered. A mathematical model of the "drive-wheel" system is proposed. Mathematical modeling of the operation of single-loop and dual-loop control systems of a single-wheeled mobile robot under conditions of the presence of disturbing effects is carried out. A comparative analysis of the parameters of the quality of control performed by both considered ACS is performed.

Key words: computer model, dual-loop control system, DC electric drive, PID controller, transient response.