

Kryukov Sergey Vladimirovich – Laboratory of perspective technologies and processes of the Center of researches of problems of safety of Russian Academy of Science and SRSUES; e-mail: vvks@list.ru; 147, Shevchenko, Shakhty, 346500, Russia; phone: +79852337060; scientist.

Pahomov Ilya Viktorovich – e-mail: pahom2191@mail.ru; phone: +79094134744; research engineer.

Belich Sergey Sergeevich – e-mail: whitess@list.ru; phone: +79185056136; research engineer.

УДК 681.58: 621.372

А.Е. Титов, И.О. Шаповалов

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В ЗАДАЧАХ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Рассматриваются вопросы организации прецизионных аналоговых интерфейсов в экстремальной робототехнике. Данные интерфейсы применяются в системах группового управления роботами для обеспечения высокой точности преобразования и передачи данных от чувствительных элементов. Применение новых решений для организации интерфейсов между роботами и сенсорами обуславливается их функционированием при воздействии дестабилизирующих факторов. Приводятся математическое описание системы группового управления роботами, ее структурная схема, укрупненная схема формирования управляющих воздействий, структурные схемы СФ-блоков аналогового интерфейса и результаты их моделирования в среде PSpice.

Группа роботов; распределенная система; управление движением; аналоговый интерфейс; инструментальный усилитель; ограничитель спектра; сенсор.

A.E. Titov, I.O. Shapovalov

USING OF HIGH-PRECISION ANALOG INTERFACE IN EXTREME ROBOTIC TASKS

Aspects of high-precision analog interface organization in extreme robotics are considered in the paper. Such interfaces are used in group robot control systems for providing of high-precision sensor data conversion and transmitting. New solution application for organization of interfaces between robots and sensors is conditioned by functioning under impact of destabilizing factors. Mathematical description, structural scheme of group robot control system, simplified control action generation scheme, structural schemes of analog interface IP-blocks and modeling results in PSpice are given.

Robot group; distributed system; motion control; analog interface; instrumentation amplifier; spectrum limiter; sensor.

Введение. Эра робототехники началась во второй половине XX-го века, и с тех пор области применения роботов с каждым годом все более расширяются. Традиционно роботы применяются для выполнения различных производственных операций, что является предметом изучения промышленной робототехники, и для функционирования в экстремальных средах, в которых работа людей затруднена или невозможна. Промышленная робототехника к настоящему моменту решила практически все поставленные перед ней задачи. В экстремальной же робототехнике в настоящее время имеется множество нерешенных проблем. Это связано, в первую очередь, с тем, что экстремальные среды в большинстве случаев неформализованы и характеризуются большим количеством неопределенностей. Задача синтеза алгоритмов управления для роботов, работающих в экстремальных средах, таким образом, обладает большой степенью сложности.

Управление роботами еще более усложняется, если необходимо осуществлять согласованное управление группой роботов. Поскольку для разработчиков и исследователей становится все более очевидным, что группы взаимосвязанных роботов имеют значительные преимущества перед одиночными роботами, область экстремальной робототехники, в которой исследуются системы группового управления роботами, бурно развивается в настоящее время.

Среди всего многообразия существующих в настоящее время принципов организации групп роботов выделяются распределенные группы автономных мобильных роботов. Из-за особенностей, присущих таким системам, к групповым управляющим устройствам предъявляются особые требования. Системы управления группами роботов должны обеспечивать решение поставленных задач при изменении структуры и состава системы, при неизвестных условиях окружающей среды и даже при противодействии. Из [1] очевидно, что наиболее перспективным является подход на основе децентрализованного управления с применением роевого интеллекта. Реализация децентрализованного управления требует постоянного обмена данными между роботами. Если децентрализованная робототехническая система функционирует в экстремальной среде типа радиоактивно зараженной местности, то организация качественного информационного обмена требует применения специальных схемотехнических решений для сенсорных систем роботов.

Создание радиационно стойких аналоговых интерфейсов (АИ) смешанных систем в корпусе (СвК) между роботами и чувствительными элементами (сенсорами) мостового типа предполагает применение инструментальных усилителей (ИУ) как с фиксированными, так и управляемыми параметрами, выполняющих функции подавления синфазного сигнала и усиление дифференциального напряжения и ограничителей спектра (ОС). Эти устройства являются основой как для аналоговых портов, так и для целого класса сложнофункциональных блоков (СФ-блоков) СвК. Как показывает практика [2], использование лишь радиационно-стойкой технологии при построении таких СФ блоков без изменения структуры и схемотехники ряда узлов не позволяет обеспечить бесперебойную работу устройств в условиях радиационного воздействия свыше 50 крад, что приводит к неверной передаче данных из окружающей среды роботам группы. Поэтому необходимо дальнейшее развитие схемотехнических решений, направленных на повышение качественных показателей устройства при воздействии дозы радиации, потока нейтронов, температуры.

Управление группой роботов. Одной из проблем, при решении которой могут быть реализованы преимущества, присущие группам роботов, является транспортировка грузов, в особенности буксировка крупногабаритных грузов.

В работе рассматривается структура системы управления группой интеллектуальных роботов, а перемещающей плоское тело, расположенное на твердой поверхности (рис. 1). При этом перемещаемое тело является объектом управления, а группа роботов формирует управляющие воздействия в соответствии с целью управления.

Тело M имеет круглую форму, массу m , радиус r и момент инерции J . Его движение описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bf(u) + H\psi(x), \\ y &= c^T x, \end{aligned} \quad (1)$$

где x – вектор переменных состояния, u – вектор управления, y – вектор выходных переменных объекта, $f(u)$ – нелинейная вектор-функция, отражающая суммарное действие активных роботов группы; ψ – вектор-функция возмущающих воздействий, A, B, H, c – матрицы и вектор известных коэффициентов.

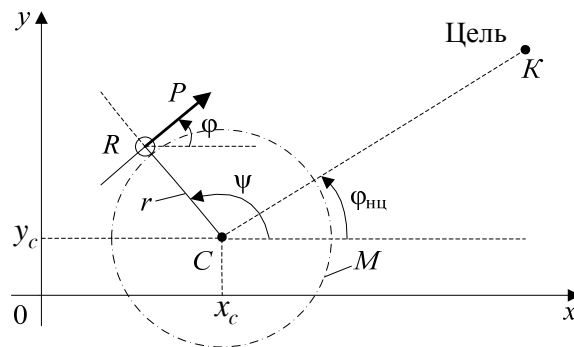


Рис. 1. Круглое тело на плоскости

Компонентами вектора x являются переменные x_1, x_3 – координаты центра тяжести тела, x_2, x_4 – проекции линейной скорости тела на оси координат.

Группа должна самостоятельно сформировать кластер – подгруппу активных роботов, решающих задачу по перемещению тела вдоль заданной траектории. Условия перемещения могут существенно изменяться на различных участках траектории. Следовательно, возникает задача адаптации структуры группы роботов к текущим условиям. С точки зрения теории управления [3] система «группа роботов-тело», обеспечивающая перемещение тела по заданной траектории, является распределенной самоорганизующейся адаптивной системой управления.

Эту систему управления можно представить структурной схемой, представленной на рис. 2.

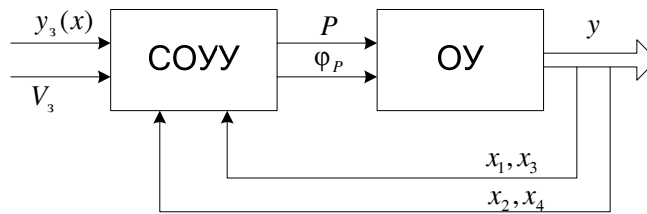


Рис. 2. Структурная схема системы управления

На рис. 2 обозначено: СОУУ – самоорганизующееся устройство управления, ОУ – объект управления, $y_c(x)$ – заданная траектория, V_c – заданная скорость движения объекта по траектории. Элементы устройства управления – роботы группы – анализируют характер текущего участка заданной траектории и аналогичный участок реальной траектории на основе сигналов $x_1, x_3, y_3(x)$ и воздействует на объект управления силой P , направленной под углом ϕ_P (см. рис. 1).

Схематически действия роботов группы можно представить, как показано на рис. 3.

В соответствии с рис. 3 измеряемые координаты тела используются для формирования роботами группы последующих действий в блоке формирующего устройства (ФУ), а также для вычисления текущего отклонения ϵ_y реальной траектории тела от заданной траектории $y_3(x)$.

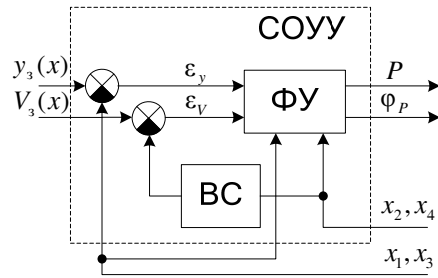


Рис. 3. Схема действий роботов группы

Блок вычисления скорости (ВС) предназначен для вычисления текущего значения скорости тела $V(x)$ на основе её измеряемых проекций на координатные оси. Отклонение скорости ε_V от заданной скорости наряду с отклонением ε_y используется для формирования текущих управляющих воздействий с целью их устраниения. Управляющие воздействия P и φ_P определяются из условия минимума функционала

$$J = \int_{t_0}^{t_1} (\varepsilon_y^2 + \varepsilon_V^2) dt, \quad (3)$$

где $[t_0, t_1]$ – временной интервал движения объекта по траектории.

Измерение компонент вектора x осуществляется датчиками типа акселерометров, связанных с вычислительными системами роботов через прецизионный аналоговый интерфейс.

Построение прецизионного аналогового интерфейса. Как правило, при построении современных АИ используется классическая структура ИУ, которая включает в себя три операционных усилителя и семь прецизионных резисторов. Согласно [4], использование такой реализации ИУ в условиях воздействия радиации приведет к значительному ухудшению метрологических свойств устройства и интерфейса в целом, что в свою очередь приведет к получению неверных данных роботом, и, следовательно, к его неправильной работе. В [5] показана реализация инструментального усилителя на базе парафазного мультидифференциального операционного усилителя (МОУ [6]), обладающего высокими качественными показателями при радиационном воздействии за счет применения набора эффективных схмотехнических решений. Структура этого ИУ приведена на рис. 4, а его качественные показатели (результаты моделирования в среде PSpice) при различных вариантах воздействия гаммы дестабилизирующих факторов – высокоэнергетического потока нейтронов F_n , дозы радиации D и температуры T – в табл. 1.

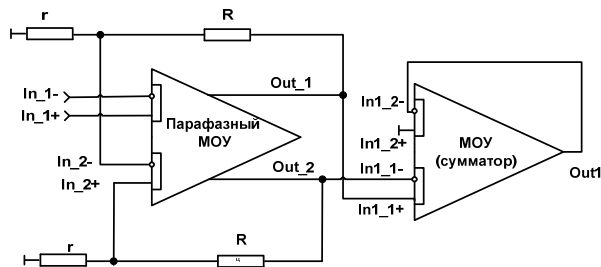


Рис. 4. ИУ на базе парафазного МОУ

Как видно из табл. 1, такой ИУ обладает низким коэффициентом передачи синфазного сигнала, при реализации дифференциального коэффициента усиления до 60 дБ, низким напряжением дрейфа нуля, определяемым ЭДС смещения выходного сумматора на МОУ. Инструментальный усилитель характеризуется относительно высоким быстродействием и небольшим временем переходных процессов.

Таблица 1

Результаты моделирования ИУ

Параметры Воздействие	K_d , дБ	$f_{гр-д}$, МГц	$K_{сн}$, дБ	$f_{гр-сн}$, кГц	$U_{др}$, мкВ	ν , В/мкс	$t_{п}$, мкс
$F_n = 0, D = 0, t^\circ = 0$	60	1,2	-100	5,3	-26	10 10	0,5 0,5
$F_n = 5 \cdot 10^{13} \text{ Н/см}^2$	60	1,17	-100	2,1	-85	10 10	0,5 0,5
$D = 100 \text{ крад}$	60	1,2	-100	4,2	-47	10 10	0,5 0,5
$D = 500 \text{ крад}$	60	1,17	-100	2,5	-106	10 10	0,5 0,5
$t^\circ = -40^\circ \text{ C}$	60	1,48	-100	5,1	34	11 2,5	0,5 0,5
$t^\circ = +80^\circ \text{ C}$	60	1,05	-100	5,1	-182	9 9	0,6 0,6
$F_n = 5 \cdot 10^{13} \text{ Н/см}^2$, $D = 500 \text{ крад}, t^\circ = -40^\circ \text{ C}$	60	1,4	-100	1,5	-184	11 1,6	0,5 0,5
$F_n = 5 \cdot 10^{13} \text{ Н/см}^2$, $D = 500 \text{ крад}, t^\circ = +80^\circ \text{ C}$	60	1,02	-100	1,5	-295	9 9	0,6 0,6

K_d – коэффициент усиления дифференциального сигнала, $f_{гр-д}$ – граничная частота K_d , $K_{сн}$ – коэффициент ослабления синфазного напряжения, $f_{гр-сн}$ – граничная частота $K_{сн}$, $U_{др}$ – напряжение дрейфа нуля усилителя, ν – скорость нарастания импульса по положительному и отрицательному фронтам, $t_{п}$ – длительность переходного процесса.

Кроме высоких качественных показателей такая реализация инструментального усилителя имеет и относительно небольшое энергопотребление при работе в условиях воздействия радиации. Также такая структура ИУ позволяет разработать аналоговый интерфейс, в котором ограничитель спектра располагается не после инструментального усилителя, как в классической структуре, а включены в его структуру между парафазным мультидифференциальным ОУ и сумматором по каждому из каналов ИУ, как это показано на рис. 5, где 1 – парафазный МОУ, 2 – ограничители спектра, 3 – выходной сумматор на базе МОУ. Таким образом, погрешность вносимая ограничителем спектра в дрейф нуля устройства минимизируется выходным сумматором.

В ходе работы был спроектирован ограничитель спектра, представленный на рис. 6, а на рис. 7 представлен пример его работы в структуре ИУ рис. 5, при заданном ограничении спектра до 1кГц (сплошная линия) и без ограничения (пунктирная линия), а также при коэффициенте усиления 60 дБ и воздействии гаммы дестабилизирующих факторов.

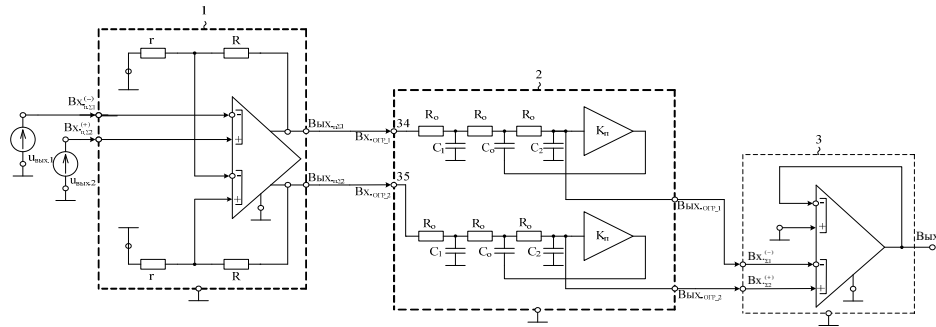


Рис. 5. Структура ИУ с ограничителями спектра для АИ

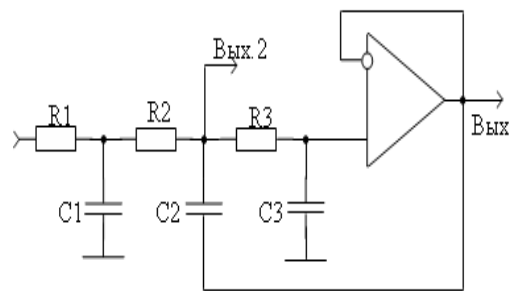


Рис. 6. Ограничитель спектра

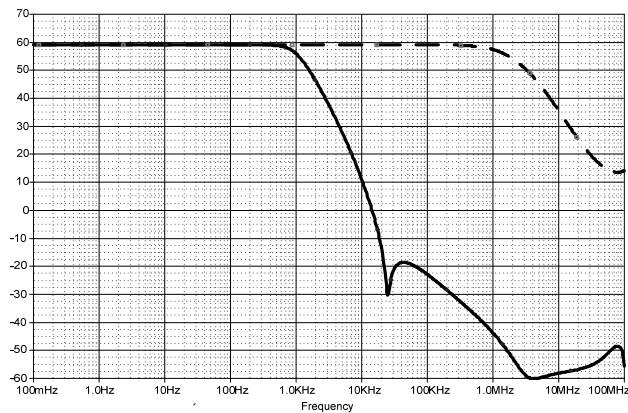


Рис. 7. Выходной сигнал ИУ (рис. 5)

Необходимо отметить, что третий порядок фильтра нижних частот на рис. 6 позволяет при сохранении приемлемого ослабления сигнала в окрестности тактовой частоты n -разрядного АЦП осуществить оценку производной изменяемой величины. Для этого можно использовать дополнительный выход – Вых. 2 ФНЧ.

Заключение. Применение эффективных схемотехнических решений в структурах инструментальных усилителей и ограничителей спектра позволяет создавать прецизионные аналоговые интерфейсы, метрологические свойства которых обеспечивают высокую точность преобразования и передачи данных от чувствительных элементов (сенсоров) к вычислительным системам роботов при воздействии гаммы дестабилизирующих факторов в условия воздействия радиации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.* Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009.
2. *Прокопенко Н.Н., Старченко Е.И., Крутччинский С.Г., Титов А.Е. и др.* Каталог разработок Российско-Белорусского центра аналоговой микросхемотехники. – Шахты: Изд-во ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – 479 с.
3. *Александров А.Г.* Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1989.
4. *Титов А.Е., Дворников О.В.* Радиационно-стойкие инструментальные усилители на АБМК. Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных схем – 2012. Сборник трудов под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2012. – С. 284-287.
5. *Крутччинский С.Г., Радченко В.А.* Радиационно стойкий инструментальный усилитель на базе парафазного мультидифференциального ОУ. Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб.: СПбГПУ, 2012. – № 2 (145). – С. 151-154.
6. *Крутччинский С.Г., Титов А.Е.* Структурный синтез инструментальных усилителей на базе МОУ // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 5 (94). – С. 72-81.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.Н. Прокопенко.

Титов Алексей Евгеньевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: alex.evgeny.titov@gmail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 89508473455; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Шаповалов Игорь Олегович – e-mail: shapovalovio@gmail.com; кафедра систем автоматического управления; ассистент.

Titov Alexey Evgen'evich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: alex.evgeny.titov@gmail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79508473455; the department of automatic control systems; postgraduate student.

Shapovalov Igor Olegovich – e-mail: shapovalovio@gmail.com; the department of automatic control systems; assistant.