

УДК 621.396

Применение акселерометрических датчиков в измерительных гониометрических системах

Греченева А.В., Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и практическим применением акселерометрических датчиков в различных электронно-механических системах диагностики и реабилитации опорно-двигательного аппарата. Определены основные проблемы применения акселерометрических методов при регистрации полного вектора ускорения с помощью двухкомпонентных акселерометров дифференциального типа. Выявлена основная причина возникновения погрешности измерения при применении данного подхода. Рассмотрены основные положения фазометрического метода формирования сигнала дифференциальных измерительных преобразователей для акселерометрического датчика угла поворота. Рассмотрена реализация электронного датчика угла поворота биокинематических пар на основе фазометрического метода формирования сигнала. Обоснован принцип применения фазометрического способа акселерометрического измерения угла поворота кинематической пары, позволяющего устранить мультипликативную погрешность на предварительной стадии измерения угла поворота кинематических пар.

Ключевые слова: гониометрия, акселерометрический датчик, фазометрический метод, угол поворота, система диагностики, опорно-двигательный аппарат, суставные перемещения.

The application of accelerometer sensors in goniometric measurement systems

Grecheneva A.V., Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V.

This paper addresses the issues related to the development and practical application of accelerometer sensors in various electro-mechanical systems for diagnostics and rehabilitation of a musculoskeletal system. The major problems of accelerometer methods in recording a complete acceleration vector by means of two-component differential-type accelerometers are identified. The main reason of measurement error in the application of this approach is considered. The basic provisions for the phase-measuring method of generating the signal of differential transducers for accelerometer angle sensor are presented. The implementation of the electronic angle sensor for biokinematic pairs under the phase-measuring method of signal generating is discussed. The application of phase-measuring method for accelerometer measuring the rotation angle of a kinematic pair, that recovers a multiplicative error in the preliminary stage of measuring the rotation angle of a kinematic pair, is provided.

Keywords: goniometry, accelerometer, phase-measuring method, rotation angle, diagnostic system, musculoskeletal system, joint movements.

Введение

Основной проблемой традиционных измерительных систем на базе дифференциальных измерительных преобразователей, является наличие мультипликативной нестабильности ветвей преобразователя [1]. Для устранения данной погрешности в устройствах формирования выходного сигнала измерительного преобразователя применяются компенсационные методы.

Целью работы является изучение применения фазометрического метода формирования сигнала в рамках создания электронного акселерометрического гониометра для обеспечения устойчивости системы к влиянию мультипликативных помех и различных условий эксплуатации.

Фазометрический метод измерения угла поворота

Принцип действия данного метода основан на непосредственном преобразовании сигналов с двухкомпонентных акселерометров в фазу синусоидального колебания. Это достигается путём питания акселерометров источником переменного напряжения, при этом фаза одного напряжения сдвинута относительно фазы другого на $\pi/2$.

По данной методике, направление мгновенного ускорения по отклонению к базису объ-

екта А, будет иметь угол φ_A , а к базису объекта В угол φ_B .

Тогда сигналы с выходов акселерометров будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} a_{x1} &= U \sin(\omega t) K_{x1} a \cos(\varphi_A), \\ a_{y1} &= U \cos(\omega t) K_{y1} a \sin(\varphi_A), \\ a_{x2} &= U \sin(\omega t) K_{x2} a \cos(\varphi_B), \\ a_{y2} &= U \cos(\omega t) K_{y2} a \sin(\varphi_B), \end{aligned} \quad (1)$$

где U, ω - амплитуда и частота сигнала квадратурного генератора.

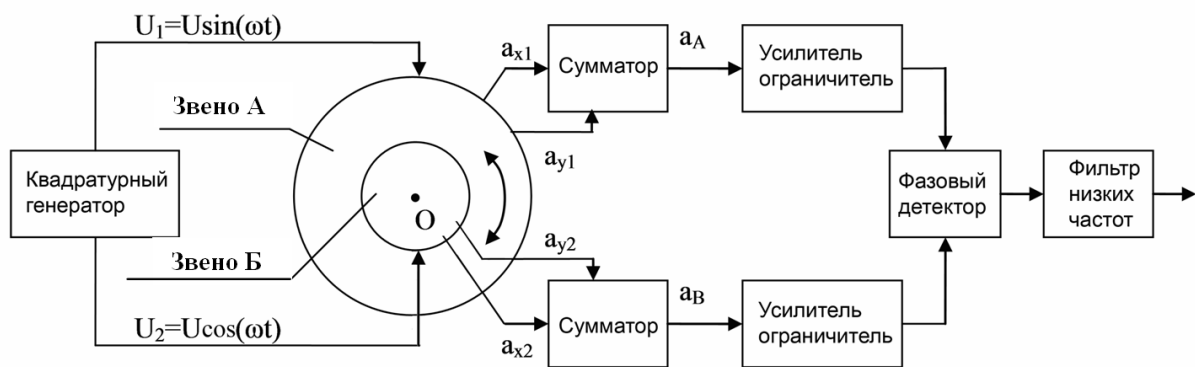


Рис. 1. Фазометрический метод измерения угла поворота.

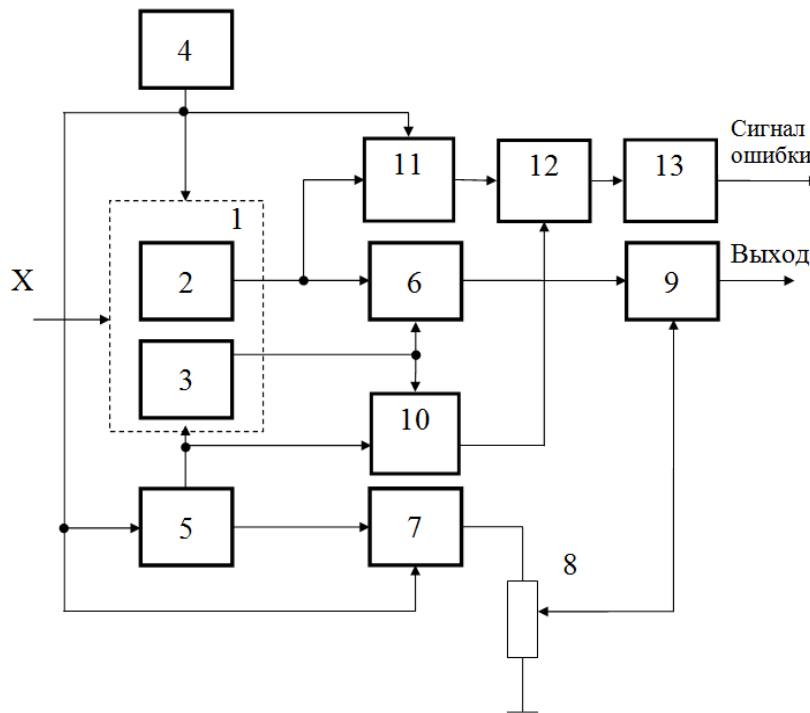


Рис. 2. Блок-схема устройства формирования сигнала гониометра.

При сложении сигналов в сумматорах для объекта А и объекта В соответственно получим:

$$\begin{aligned} a_A &= UK_{x1} a \cos(\omega t + \varphi_A + \varphi_{K1}), \\ a_B &= UK_{x2} a \cos(\omega t + \varphi_B + \varphi_{K2}), \end{aligned} \quad (2)$$

где φ_{K1} и φ_{K2} - фазы рассогласования измерительных ветвей.

В результате с выхода фазового детектора после низкочастотной фильтрации мы будем иметь сигнал пропорциональный углу поворота объекта А относительно объекта В. Мультипликативная погрешность устраняется за счет ограничения уровня сигналов в ограничителе с последующим фазовым детектированием сигнала и определяется технической реализацией фазометрического метода. [1]

Акселерометрический гониометр

Реализация данного датчика позволяет решить задачу повышения точности измерений суставных перемещений. Это достигается путем применения двухкоординатных акселерометров питаемых переменным током и соединенных последовательно на объекте А и объекте В [2].

Схема устройства формирования сигнала содержит фазовращатель 5 для генерации квадратурной составляющей сигнала, поступающего с источника переменного тока 4. Напряжения с выходов ветвей 2 и 3 акселерометра 1 поступают на входы фазового детектора 6, выход которого подключен к входу дифференциального усилителя 9, формирующего выходное постоянное напряжение. Также данная схема содержит переменный резистор 8, фазовый детектор 7. Контроль за работоспособностью акселерометра осуществляется с помощью фазовых детекторов 10 и 11, и дифференциального усилителя 12. В случае рассогласования измерительных ветвей, устройство фиксации ошибки 13 вырабатывает сигнал [3].

Из соотношений (1) и (2), сигнал на входе основного фазового детектора:

$$\begin{aligned} U_A &= UK_{x1}(1 + \Delta K_1)a \cos(\omega t + \varphi_A + \varphi_{K1}), \\ U_B &= UK_{x2}(1 + \Delta K_2)a \cos(\omega t + \varphi_B + \varphi_{K2}) \end{aligned} \quad (3)$$

Так как выбрана схема последовательного включения акселерометров, то коэффициенты преобразования равны: $K_{x1} = K_{y1}$ и $K_{x2} = K_{y2}$, следовательно, фазы рассогласования измерительных ветвей $\varphi_{K1} = \varphi_{K2} = 0$. В результате на выходе фазового детектора 6 формируется сигнал пропорциональный углу поворота φ без влияния коэффициентов неустойчивости ветвей.

Заключение

Таким образом, практическая реализация акселерометрического гониометра позволит:

- повысить устойчивость системы к влиянию мультипликативных помех и неустойчивости питающего напряжения;
- повысить точность и чувствительность измерений;
- упростить вычисления измеряемых параметров;
- реализовать телеметрические измерения.

Литература

1. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Устранение мультипликативной неустойчивости параметров дифференциальных измерительных преобразователей // Методы и устройства передачи и обработки информации, Вып. 10. – М.: Радиотехника, 2008. – С. 79-82.
2. Цаплев А.В., Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р. Устройство формирования сигнала акселерометрического датчика угла поворота антенных устройств РЛС // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4(16), 2014. – С.13-18.
3. Патент 151194 (РФ) G01V7/14. Устройство формирования выходного сигнала дифференциального измерительного преобразователя / Кузичкин О.Р., Гладышев М.А. (РФ), заявл. 08.08.14.; опубл. 27.03.2015

References

1. *Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V.* Ustranenie mul'tiplikativnoj nestabil'nosti parametrov differencial'nyh izmeritel'nyh preobrazovatelej [Eliminating multiplicative instability of the parameters of differential transducers] // *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii* [Methods and devices of information transmission and processing], vol. 10, 2008. – P. 79-82.

2. *Tsaplev A.V., Dorofeev N.V., Kuzichkin O.R.* Ustrojstvo formirovaniya signala akselerometrich-

eskogo datchika ugla povorota antennyh ustrojstv RLS [The signal of the accelerometer angle sensor radar antenna devices] // *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy* [Radio Engineering and Telecommunication Systems], №4 (16), 2014. – P.13-18.

3. Patent 151194 (RF) G01V7/14. Ustrojstvo formirovaniya vyhodnogo signala differencial'nogo izmeritel'nogo preobrazovatelja [Device forming a differential output signal transducer] / *Kuzichkin O.R., Gladyshev M.A.* (RF), publ. 27.03.2015.

Статья поступила в редакцию 3 марта 2015 г.

Греченева Анастасия Владимировна – студентка факультета «Радиоэлектроники и компьютерных систем» по специальности 200102.65 «Приборы и методы контроля качества и диагностики» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Кузичкин Олег Рудольфович – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: electron@mivlgu.ru

Дорофеев Николай Викторович – кандидат технических наук, зав. кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

Grecheneva Anastasiya Vladimirovna – Student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Kuzichkin Oleg Rudolfovich – Prefessor, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: electron@mivlgu.ru

Dorofeev Nikolay Viktorovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru