

УДК 621.396

Применение мостовых датчиков в измерительных акселерометрических системах

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

В статье рассматриваются вопросы, связанные с применением тензометрических датчиков в различных электронно-механических системах управления, позиционирования и контроля. Рассмотрены основные схемы включения пассивных датчиков на примере тензорезистивных преобразователей. Отмечены их достоинства и недостатки. 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 тензосопротивлений. Рассмотрено использование фазометрического метода формирования сигнала дифференциальных измерительных преобразователей для акселерометрического датчика угла поворота. Рассмотрена реализация электронного датчика угла поворота кинематических 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: мостовая схема сопротивлений, тензометрический датчик, датчик угла поворота, кинематическая пара, акселерометр, фазометрический метод, обработка сигнала.

Application of bridge sensors in accelerometer measuring systems

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

The paper discusses issues covering the application of tensometric sensors in various electro-mechanical systems for controlling, positioning and monitoring. The basic connection schemes for passive sensors by the example of tensoresistive transducers are presented. Their advantages and drawbacks are given. The major problems of applying accelerometer techniques to register a full acceleration vector while using two-component accelerometers of a differential type are discussed. The main reason for the measurement error in the application of load-indicating resistors is identified. The application of phase-measuring technique for producing a signal of differential transducers for the accelerometer rotation degree is considered. Implementing the electronic sensor of rotation degree for a kinematic couple following the phase-measuring method of producing the signal is given. The application of phase-measuring technique for accelerometric measurement of the rotation degree of a kinematic pair, enabling to eliminate the multiplicative error in the preliminary measurement stage of the rotation degree of kinematic pairs, is proved.

Keywords: resistance bridge circuit, tensometric sensor, rotation degree sensor, kinematic couple, accelerometer, phase-measuring method, signal processing.

Введение

В машиностроении при создании контрольно-измерительной аппаратуры существует важная задача измерения угла поворота одного механического объекта относительно другого.

Кроме этого в последнее время прослеживается тенденция повышения эффективности и надежности устройств измерения угла поворота за счет применения электронных датчиков положения механизмов с микропро-

цессорным управлением [1]. Так же следует отметить, что перспективным направлением является применение инерционных систем контроля механических перемещений объектов, принцип работы которых основан на применении в качестве базовых элементов акселерометров.

Целью работы является изучение возможности применения тензометрических акселерометров для измерения углов поворота кинематических узлов механизмов и обоснование

фазометрического метода формирования сигнала акселерометрического датчика угла поворота.

Потенциометрические схемы контроля

Как правило, изменения измеряемой величины преобразуют в электрический сигнал путем включения датчика в измерительную схему с источником напряжения или тока. Получаем потенциометрическую схему или реостатную схему с источником тока. Преимущество подобных схем в простоте реализации, однако, их главный недостаток – это чувствительность к паразитным помехам и зависимость чувствительности от дрейфа источника питания.

Мостовые схемы контроля

Схемы, позволяющие существенно повысить точность и снизить чувствительность к флуктуациям источника питания – мостовые схемы. Кроме этого, подобные схемы подключения представляют из себя двойной потенциометр с дифференциальным включением, что позволяет исключать постоянную составляющую в измеряемом сигнале, не содержащую полезной информации, снижая требования к диапазону чувствительности измерительного средства, используемого в системе (рисунок 1).

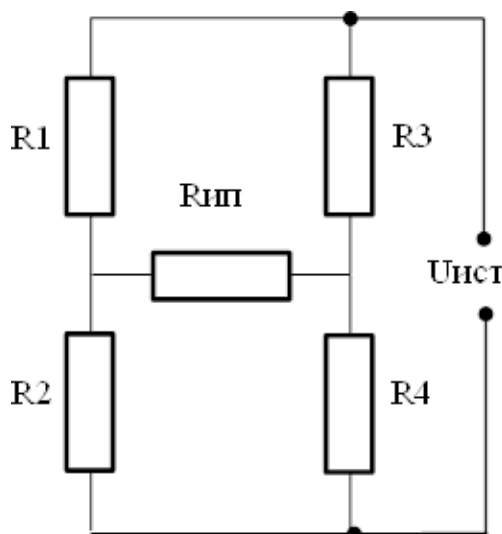


Рис. 1. Мостовая схема Уитстона.

Общий вид мостовой схемы (мост Уитстона) показан на рис. 1. На этом рисунке $R_{ип}$ – входное сопротивление измерительного прибора, определяющего разбаланс тока или напряжения в диагонали моста. Когда мост находится в равновесии $I_{ип} = 0$. Данное состояние возможно при равенстве отношений сопротивлений в плечах моста $R1/R3 = R2/R4$. На этом принципе основаны мостовые измерения, которые названы равновесными или балансными.

Следует отметить, что условие равновесия не зависит от внутреннего сопротивления источника питания схемы и входного сопротивления измерительного прибора. Предполагая, что сопротивление источника питания мало и входного сопротивления измерительного прибора велико, выражения для тока и напряжения в диагонали моста примут вид:

$$I_{ип} = U_{ист} \frac{R2R3 - R1R4}{R_{ип}(R1 + R2)(R3 + R4)}$$

$$U_{ип} = R_{ип} I_{ип} = U_{ист} \frac{R2R3 - R1R4}{(R1 + R2)(R3 + R4)}$$

Эти выражения являются базовыми для мостовой схемы включения резистивного датчика. Чувствительность моста максимальна при $R1 = R2$ и $R3 = R4$, но для упрощения измерений чаще всего сопротивления во всех плечах моста выбираются одинаковыми.

Электронный датчик угла поворота кинематических узлов механизмов

Более трудной является задача создания электронного датчика угла поворота неконтактного типа, позволяющего проводить измерение без особых конструктивных доработок кинематических узлов механизмов. Принцип применения тензометрических акселерометров для измерения угла поворота кинематических пар φ , основан на измерении полного вектора ускорения общей точки O кинематической пары в двух системах отсчета [3].

Однако при их практической реализации появляется ряд существенных источников по-

грешностей измерения угла, определяемых возможной разбалансировкой и нестабильностью коэффициентов преобразования акселерометров [4].

В традиционных измерительных системах угловых перемещений, в которых применяются дифференциальные измерительные преобразователи, основной проблемой является наличие мультипликативной нестабильности ветвей преобразователя [5]. Для ее устранения в устройствах формирования выходного сигнала измерительного преобразователя применяются компенсационные методы. В этом случае питание измерительного моста осуществляется от источника переменного тока, а выпрямленные сигналы с соответствующих ветвей моста усиливаются до необходимого уровня дифференциальным усилителем. Для мультипликативной компенсации и получения более высокой точности измерения в устройство дополнительно вводится компенсационный переменный резистор, подключаемый к входу одного из выпрямителей и к дополнительному входу дифференциального усилителя, что позволяет осуществить устранение влияния нестабильности параметров преобразователя [6].

Применение фазометрического способа акселерометрического измерения угла поворота кинематической пары позволяет избежать громоздких вычислений угла и устранить мультипликативную погрешность на предварительной стадии измерения. Принцип его действия основан на непосредственном преобразовании сигналов с двухкомпонентных акселерометров в фазу синусоидального колебания. Это достигается путем применения квадратурного генератора для источника опорного напряжения акселерометров [4].

Задача повышения точности измерений угла поворота кинематических пар с помощью дифференциальных измерительных преобразователей, питаемых переменным током, мо-

жет быть решена за счет применения двухкоординатных акселерометров соединенных последовательно на объекте А и объекте В. При этом они образуют пространственно ориентированный измерительный мост, выходами моста являются точки соединения акселерометров на каждом из объектов. Этот подход, позволяющий устранить влияние мультипликативной нестабильности, реализован в электронном датчике угла поворота кинематических узлов механизмов, приведенном на рисунке 2 [7].

Отличительностью особенностью приведенного электронного датчика угла поворота является введение в него дополнительного фазовращателя 5, служащего для формирования квадратурной составляющей сигнала, вход которого подключается к источнику переменного тока 4, а выход к измерительному преобразователю 1 и второму фазовому детектору 7. Входы основного фазового детектора 6 соединяются с выходами ветвей 2 и 3 измерительного преобразователя, а выход подключается ко второму входу дифференциального усилителя 9. Входы второго фазового детектора подключаются к источнику переменного тока и к выходу фазовращателя, а выход подключен к переменному резистору 8. В состав фазовых детекторов конструктивно входят усилители, ограничители и фильтры низких частот.

В итоге сигнал на входе основного фазового детектора будет иметь следующий вид:

$$U_A = UK_{x1}(1 + \Delta K_1)a \cos(\omega t + \varphi_A + \varphi_{K1}),$$

$$U_B = UK_{x2}(1 + \Delta K_2)a \cos(\omega t + \varphi_B + \varphi_{K2}),$$

где $K_{x1}, K_{y1}, K_{x2}, K_{y2}$ – коэффициенты преобразования соответствующих акселерометров; φ_A и φ_B – углы между направлением вектора ускорения общей точки О кинематической пары и измерительными акселерометрическими системами (\vec{x}_A, \vec{y}_A) и (\vec{x}_B, \vec{y}_B) соответственно.

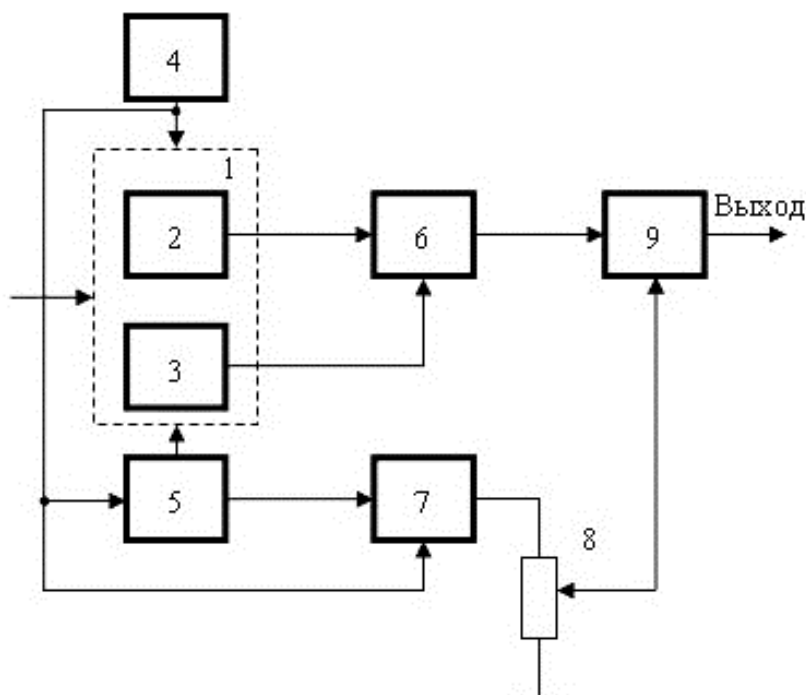


Рис. 2. Блок-схема устройства формирования сигнала датчика угла поворота.

При последовательном включении акселерометров $K_{x1} = K_{y1}$ и $K_{x2} = K_{y2}$, соответственно фазы рассогласования измерительных ветвей $\varphi_{K1} = \varphi_{K2} = 0$. В результате на выходе основного фазового детектора формируется сигнал пропорциональный углу поворота кинематической пары φ без влияния коэффициенты неустойчивости ветвей измерительного преобразователя.

Сигнал со второго фазового детектора 7 с помощью переменного резистора 8 в нормальных условиях позволяет формировать нулевой угол отсчета поворота кинематической пары при несимметричном дифференциальном измерительном преобразователе. Также это дает возможность выполнять периодическую балансировку измерительного преобразователя 1 при расположении последнего в местах, труднодоступных для обслуживающего персонала.

Заключение

Таким образом, рассмотренный фазометрический способ измерения угла поворота кинематической пары повышает точность измере-

ний за счет применения схемы дифференциального включения акселерометров, питаемых переменным током, и позволяет устранить влияние мультипликативной неустойчивости.

Кроме простоты реализации электронный датчик угла поворота, сделанный по принципу фазометрического измерения, позволяет устранить ошибку измерений, связанную с неустойчивостью питающего акселерометры напряжения, и такой неустраняемой причиной как люфт кинематической пары. Предлагаемый способ лишен данного недостатка, так как по принципу его действия угол поворота объектов определяется путем преобразования направления мгновенного вектора ускорения в фазу синусоидального колебания.

Литература

1. Левшин Е.С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983.
2. Doebelin E.O. Measurement systems. Application and design. – McGraw Hill Kogakusha Ltd., Tokyo, 1975.
3. Демиденко В.П., Попов Г.М., Пупенин А.В. и др. Устройство для измерения параметров угло-

вого движения. // Патент №93026518 (РФ) G01P15/00, заявл. 19.05.1993; опубл. 20.12.1996.

4. 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.13-19.

5. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Устранение мультипликативной нестабильности параметров дифференциальных измерительных преобразователей // Методы и устройства передачи и обработки информации, Вып. 10. – М.: Радиотехника, 2008. – С. 79-82.

6. Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р. Проблемы мультипликативной нестабильности дифференциальных измерительных преобразователей электромагнитного поля // Вопросы радиоэлектроники, 2010, Т.1, №1. – С. 117-122.

7. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Устройство формирования выходного сигнала дифференциального измерительного преобразователя // Патент 64342 (РФ) G01V7/14, заявл. 20.12.06.; опубл. 27.03.2007.

References

1. Levshin E.S., P.V. Novitsky. Jelektricheskie izmerenija fizicheskikh velichin: Izmeritel'nye preobrazovately. Uchebnoe posobie dlja vuzov [Electrical measurements of physical quantities: Transmitters. Textbook. manual for high schools]. – Leningrad: Energoatomizdat publish, Leningrad, 1983.

2. Doebelin E.O. Measurement systems. Application and design. – McGraw Hill Kogakusha Ltd., Tokyo, 1975.

3. Demidenko V.P., Popov G.M., Pupenin A.V. et al. Ustrojstvo dlja izmerenija parametrov uglovogo dvizhenija [Apparatus for measuring angular movement] RF Patent №93026518 G01P15/00. Publ. 20.12.1996.

4. Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V. Ustrojstvo formirovaniya signala akselerometricheskogo datchika ugla povorota antennoy ustrojstv RLS [The device for signal shaping of accelerometric sensor of the slewing angle of antenna system of the RADAR] // Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy [Radioengineering and telecommunication systems], №4 (16), 2014. – P.13-18.

5. Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V. Ustranenie mul'tiplikativnoy nestabil'nosti parametrov differencial'nyh izmeritel'nyh preobrazovatelej [Remedy multiplicative instability parameters differential transducers] // Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii [Methods and device information transmission and processing], Vol. 10, 2008. – P. 79-82.

6. Dorofeev N.V., Kuzichkin O.R. Problemy mul'tiplikativnoy nestabil'nosti differencial'nyh izmeritel'nyh preobrazovatelej jelektromagnitnogo polja [Problems multiplicative volatility differential transducers electromagnetic field] // Voprosy radiojelektro-niki [Questions electronics], vol.1, №1, 2010. – P. 117-122.

7. Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V., Ustrojstvo formirovaniya vyhodnogo signala differencial'nogo izmeritel'nogo preobrazovatelja [Device forming a differential output signal transducer] // RF Patent №64342 G01V7/14. Publ. 27.03.2007.

Статья поступила в редакцию 29 ноября 2014 г.

Цаплев Алексей Вячеславович – кандидат технических наук, доцент 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: arhiav@yandex.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: itpu@mivlgu.ru

Tsaplev Aleksey Vyacheslavovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: arhiav@yandex.ru

Kuzichkin Oleg Rudolfovich – Professor, 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