DOI: 10.17117/na.2016.11.02.275

<http://ucom.ru/doc/na.2016.11.02.275.pdf>

Поступила (Received): 24.11.2016

Чернышева А.С. Датчик угловых ускорений

Chernisheva A.S.
The sensor of angular accelerations

Предложена конструкция датчика угловых ускорений. Приведено теоретическое обоснование, получено аналитическое выражение функции преобразования. Функция преобразования линейна. Датчик генераторного типа, не требует внешнего электропитания. В конструкции применен оригинальный ленточный шарнир. Основное преобразование магнитоэлектрическое. Датчик имеет широкое применение, например, для измерения параметров крутильных колебаний вращающихся валов

Ключевые слова: датчик, угловое ускорение, шарнир, инерционная масса

The proposed design of the sensor of angular accelerations. The theoretical justification derived analytical expression of the transformation function. The transformation function is linear. Sensor type generator does not require external power supply. The design used the original hinge tape. The main transform magneto. The sensor has wide application, for example, for measuring torsional vibrations of rotating shafts

Key words: sensor, angular acceleration, joint, inertial mass

Чернышева Анастасия Сергеевна

Студент

Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

г. Владимир, ул. Горького, 87

Chernisheva Anastasiya Sergeevna

Student

Vladimir state university named Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs Vladimir, Gorkogo st., 87

При экспериментальном исследовании механизмов измеряют ряд параметров движения, среди которых важное значение имеют ускорения отдельных звеньев кинематической цепи.

В качестве первичного преобразователя при измерении ускорений как поступательных, так и вращательных звеньев используют инерционную массу, сопряженную с упругим элементом. Смещение инерционной массы регистрируют с применением индуктивных [1], емкостных [2], автоколебательных [3] и магнитоэлектрических [4] преобразователей. Последний вариант имеет ряд достоинств, в частности датчик с таким вторичным преобразователем относится к генераторному типу, т.е. не требует электропитания.

Анализ известных конструкций датчиков угловых ускорений показывает, что они обладают двумя основными недостатками:

– нелинейность характеристики преобразования;

– влияние резонансной частоты первичного преобразователя на функцию преобразования. Указанные свойства известных датчиков ограничивают точность измерения.

Предлагаем основные технические решения по созданию датчика угловых ускорений, устраняющие отмеченные недостатки известных конструкций. Монтажной основой датчика служит корпус 1. Корпус образован из трубчатой заготовки с удалением части материала по торцам с образованием выступов в виде секторов:

- верхний 2 и нижний 3 (здесь и далее ориентация чертежа) – секторы упругого элемента;
- верхний сектор 4 – сектор вторичного преобразователя;
- нижний сектор 5 выполняет вспомогательную функцию, в частности за счет него обеспечиваются подход к крепежу упругого элемента и его безопасность в служебном обращении.

Инерционная масса, назовем ее баланс по аналогии с колебательными системами, образована валом 6 и крылом 7. В средней части вала выполнены цилиндрический базирующий поясок и расточка для крепления крыла методом развальцовки. На концах вал имеет квадратное сечение с резьбовыми отверстиями для крепления упругого элемента.

Крыло баланса представляет собой полосу листового магнитопроводного материала. На одном конце крыла образована магнитная система, а на другом закреплен противовес 8. В магнитную систему входит магнитопровод 9 и четыре постоянных магнита 10 осевой намагниченности, при этом два магнита закреплены (приклеены) на крыле 7, а два других – на магнитопроводе 9 с образованием двух магнитных зазоров. Магниты ориентированы так, что векторы магнитной индукции в магнитных зазорах разнонаправлены. Заметим, что требования по относительной магнитной проницаемости к материалам крыла 7 и магнитопровода 9 минимальны, поскольку направления магнитных потоков в зазорах неизменны при работе датчика. В качестве материала постоянных магнитов целесообразно использовать платинакс (ПлК76 или ПлК78). Противовес 8 и магнитопровод 9 соединены с крылом 7 заклепками.

Рис. 1. Вид сверху со снятым переходником

Упругое звено представлено четырьмя одинаковыми плоскими пружинами 11, имеющими на концах крепежные отверстия. Каждая пара пружин расположена в одной плоскости и одним концом с помощью винтов 12 закреплена на квадратном хвостовике вала 6, а другим – винтами 13 на соответствующей грани секторов 2, 3. Плоскости расположения пар пружин образуют угол 90°. В целом пружины образуют ленточный упругий шарнир.

К вторичному преобразователю, кроме отмеченной выше магнитной системы, относится плоская бескаркасная бифилярная (намотанная в два провода) электрическая катушка 14. Катушка имеет О-образную форму, в которой два участка, расположенные в зоне магнитных зазоров, радиальны по отношению к оси вращения баланса, а остальные участки выполняются из технологических соображений. Один из вариантов изготовления следующий. Наматывают катушку на цилиндрической оправке, при этом провод смачивается клеем (лаком). Далее катушку снимают с технологической оправки и в «мокром» виде придают требуемую форму. После просушки с катушкой можно обращаться как с жесткой деталью. В качестве моточного провода применяют медный провод в лаковой изоляции, например, ПЭЛ или ПЭВ. Электрическая катушка закреплена на ступеньке сектора 4 посредством планки 15 и винтов 16.

Рис. 2. Разрез А-А по рис. 1

Рабочий объем датчика закрыт двумя чашеобразными деталями 17, 18, которые крепятся к корпусу 1 винтами 19, 20. Верхняя деталь 17 – переходник – служит для соединения датчика с объектом исследования. Нижняя деталь 18 – крышка токосъемника – предназначена для крепления типового кольцевого токосъемника 20. Токосъемник представляет собой электроизоляционную втулку с наружными электропроводными кольцами, которые контактируют с неподвижными щетками.

Электрическая связь секций W_u и W_o электрической катушки 14 с внутренней поверхностью колец токосъемника осуществляется монтажным проводом, например, МГШВ – 0,12, который приклеен к внутренней поверхности корпуса

1. Паяное соединение монтажного провода и моточного провода катушки реализуется с применением контактных стоек 22 на планке 15.

Найдем передаточную функцию датчика. В реальной конструкции масса плоских пружин существенно меньше массы баланса, поэтому инерционностью пружин пренебрегаем.

Для первичного преобразователя, составленного из инерционного тела и упругого подвеса характерны моменты

$$\begin{aligned} M_{\varepsilon} &= D\varphi ; \\ M_m &= h\dot{\varphi} ; \end{aligned} \quad (1)$$

где M_{ε} – восстанавливающий момент пружин;

M_m – момент трения (сопротивление воздуха);

D – жесткость пружин;

h – коэффициент вязкого трения;

$\varphi, \dot{\varphi}$ – соответственно угловое отклонение и угловая скорость баланса.

На первичный преобразователь действует возмущающий момент от измеряемого ускорения

$$M(t) = I \varepsilon(t), \quad (2)$$

где I – момент инерции баланса;

$\varepsilon(t)$ – измеряемое ускорение.

Уравнение движения баланса под действием момента (2) будет иметь вид

$$I \ddot{\varphi} + h\dot{\varphi} + D\varphi = M(t). \quad (3)$$

Перепишем уравнение (3)

$$\ddot{\varphi} + 2\beta\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = M(t)/I, \quad (4)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{I}}$ – циклическая (круговая) частота системы баланс – упругое звено;

$\beta = \frac{h}{2I}$ – коэффициент затухания.

Характер движения баланса под действием момента $M(t)$ определяется коэффициентом затухания β .

Если при малом коэффициенте затухания ($\beta < \omega_0$) на систему воздействовать скачком ускорения ε_1 , то получим затухающий колебательный процесс с частотой

$$\begin{aligned} \omega_u &= \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \\ \varphi &= \frac{I}{D} \varepsilon_1 e^{-\beta t} \sin(\omega_u t - \psi). \end{aligned} \quad (5)$$

В общем случае функция $\varepsilon(t)$ имеет произвольный вид. Она может быть разложена в гармонический ряд Фурье

$$\varepsilon(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t) \quad (6)$$

Ряд показывает, что в разложении кроме постоянной составляющей a_0 присутствуют гармоники с кратными частотами

$$\lambda_n(t) = a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t = A_{mn} \cos(n\Omega t - \Psi_n) \quad (7)$$

где $A_{mn} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$; $\operatorname{tg} \Psi_n = b_n / a_n$.

При совпадении одной из гармоник $n\Omega$ с собственной частотой датчика возникнет резонанс, что приведет к деформации передаточной функции. Для исключения этого явления увеличим коэффициент затухания β за счет постоянного тока в демпфирующей секции W_ϕ катушки 14. При

$$\beta = \omega_0 \quad (8)$$

колебательная система датчика становится аperiодической. Пусть

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 t, \text{ тогда } \varphi = \frac{1}{D} \varepsilon(t) = \frac{1}{D} \varepsilon_0 t \quad (9)$$

Угловая скорость баланса составит

$$\dot{\varphi} = \frac{1}{D} \varepsilon_0 \quad (10)$$

Рис. 3. Крепление пружины

Рис. 4. Расчетная схема

В пределах рабочего диапазона угла поворота баланса от $-\varphi_{\max}$ до $+\varphi_{\max}$ сечения магнитных зазоров не выходят за пределы ширины катушки. При угловой скорости (10) в секции W_u будет индуцироваться ЭДС

$$e_u = \frac{1}{Dd} B d_m^2 H K_3 \dot{\varphi}, \quad (11)$$

где B – индукция в магнитных зазорах;

d_m – диаметр магнитов;

H – толщина катушки;

d – диаметрмоточного провода катушки;

K_3 – коэффициент заполнения катушки.

В формуле (11) учтено, что обе секции W_u и W_ϕ намотаны проводом одинакового диаметра и ЭДС возникает на двух участках проводников в пределах двух магнитных зазоров.

С учетом формул (10), (11) для произвольного ε системы по условию (8) получим передаточную функцию датчика

$$\varepsilon = \frac{dD^2}{B\Gamma^2 d_m^2 HK_3} e_u, \quad (12)$$

или для конкретного исполнения датчика

$$\varepsilon = Ke_u,$$

т.е. измеряемое ускорение ε пропорционально ЭДС e_u в секции W_u катушки 14 и полярность соответствует знаку измеряемого ускорения.

Граничные значения диапазона измерения определяются геометрическими размерами – см.рис.4 – значению $+\varepsilon_{\max}$ (ускорение) соответствует угол поворота баланса $\varphi_{\max}$, а значению $-\varepsilon_{\max}$ (замедление) соответствует $-\varphi_{\max}$. Допустимый угол поворота

$$\varphi_{\text{дон}} = (b - d_m) / R_o. \quad (13)$$

Нижняя граница диапазона измерения определяется чувствительностью вторичного прибора, производящего регистрацию сигнала ЭДС e_u .

Работает датчик углового ускорения следующим образом. С помощью переходника 17 крепят датчик на объекте исследования, подводят щетки токосъемника к его кольцам и подключают их к вторичному прибору. Далее проводят эксперимент. При появлении углового ускорения баланс датчика будет поворачиваться, в результате в секции W_u катушки 14 возникнет ЭДС e_u . Вторичный прибор обрабатывает значения e_u в соответствии с формулой (12).

Таким образом, предлагаемый датчик углового ускорения имеет линейную характеристику преобразования, обеспечивающую необходимую точность измерения. Конструкция датчика проста и технологична. Датчик позволяет измерять как положительные, так и отрицательные значения угловых ускорений.

Список используемых источников:

1. Федоркин О.Т. Датчик ускорения // Патент RU 2247992 МПК G01P 15/12. Оpubл.10.03.2005.
2. Баженов В.И., Бахонин К.А., Будкин В.П. и др. Преобразователь инерциальной информации // Патент RU 2199755 МПК G01P 15/13, 9/02. Оpubл.27.02.2003.
3. Кулешов В.В., Савельев В.В., Кулешов Д.В. Акселерометр // Патент RU 2481588 МПК G01P 15/13. Оpubл.10.05.2013.
4. Башкирова И.А., Каткова Л.Е., Шарыгин Л.Н. Преобразователь крутильных колебаний // Патент RU 142033 МПК G01P 3/04. Оpubл.20.06.2014.