

## К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ ПРИБОРНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ

Э. Ф. КОЛОТИЙ, И. Г. ЛЕЩЕНКО

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

Имеется большое количество узлов и устройств, в которых валы совершают в опорах незначительные угловые перемещения с остановками (опоры карданного подвеса гироскопов, опоры сельсинных передач и так далее). Очевидно, что для получения высокой точности работы подобных устройств решающее значение имеет момент трогания подшипников. В связи с этим возникает необходимость измерения момента трогания приборных шарикоподшипников.

В данной статье рассматриваются способы измерения момента трогания приборных шарикоподшипников при вертикальном расположении оси подшипника и наличии осевой нагрузки, разработанные на кафедре электроизмерительной техники Томского политехнического института.

### Общий подход к решению вопроса

Если к подвижной части испытуемого подшипника 1 (рис. 1), состоящей из наружного кольца и маховика 3, создающего осевую нагрузку, прикладывать постепенно возрастающий момент  $M_\beta$  то при равенстве момента  $M_\beta$  и момента трогания  $M_{тр}$  подшипника подвижная часть стронется с места. Факт появления ускорения подвижной части используется для фиксации значения  $M_\beta$ , при котором появилось ускорение подвижной части. Для создания постепенно возрастающего момента могут быть использованы различные типы преобразователей, выходной величиной которых является сила или момент. Вид входной величины подобных преобразователей принципиально не имеет значения, однако, предпочтение следует отдать электрическим преобразователям, на вход которых поступают электрические сигналы (ток, напряжение, мощность), поскольку в этом случае чрезвычайно удобно производить измерение входной величины преобразователя и по ней судить о значении выходной величины.

Строго говоря, подвижная часть может стронуться с места только при  $M_\beta > M_{тр}$ , то есть она поворачивается под действием разности моментов  $\Delta M = M_\beta - M_{тр}$ .

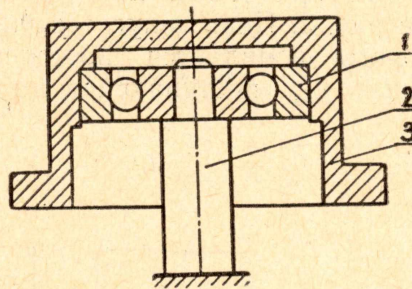


Рис. 1. Схема подвижной части.



Ускорение подвижной части будет тем больше, чем меньше ее момент инерции  $I$ , что вытекает из равенства

$$I \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \Delta M,$$

где  $\alpha$  — угол отклонения подвижной части.

Как уже указывалось, фиксирующее устройство должно реагировать на появление ускорения подвижной части, однако, создание устройств, реагирующих на сколь угодно малые ускорения, чрезвычайно затруднено, поэтому есть смысл говорить о наименьшем (пороговом) значении ускорения подвижной части  $\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2}\right)_{\text{пор}}$ , при котором срабатывает фиксирующее устройство. В этом случае величина разностного момента  $\Delta M$  будет тем меньше, чем меньше момент инерции  $I$  подвижной части. При неизменном моменте инерции  $I$  подвижной части величина  $\Delta M$  будет уменьшаться при увеличении чувствительности фиксирующего устройства (уменьшении порогового значения ускорения  $\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2}\right)_{\text{пор}}$ ).

Погрешность метода измерения момента трогания шарикоподшипника определяется как

$$\gamma_{\text{метода}} = \frac{\Delta M}{M_{\text{тр}}},$$

однако, эта погрешность всегда может быть учтена при обработке результатов при условии, что известны  $I$  и  $\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2}\right)_{\text{пор}}$ . В этом случае

$$M_{\text{тр}} = M_{\beta} - \Delta M = M_{\beta} - I \left(\frac{d^2\alpha}{dt^2}\right)_{\text{пор}}. \quad (1)$$

Значение момента  $M_{\beta}$  определяется по известному значению входной величины электрического преобразователя и известному его коэффициенту преобразования.

Общая структурная схема устройства для измерения момента трогания приборных подшипников предлагаемым методом представлена на рис. 2. Цепь запуска осуществляет запуск генератора, на выходе которого появляется постепенно возрастающая электрическая величина  $U_{\text{вх}}$  поступающая на вход электрического преобразователя. Вы-

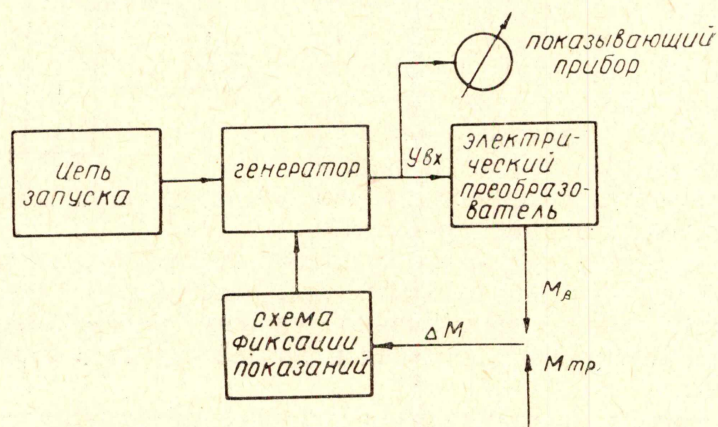


Рис. 2. Общая структура схемы прибора для измерения момента трогания



ходной величиной преобразователя является момент  $M_\beta$ , приложенный к подвижной части устройства. При появлении разности моментов  $\Delta M$  срабатывает фиксирующее устройство, отмечающее значение величины  $y_{вх}$ , при котором появляется ускорение подвижной части  $\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2}\right)_{пор}$ .

Величина  $y_{вх}$  измеряется показывающим прибором, отградуированным непосредственно в единицах измеряемого момента.

## Применение некоторых преобразователей для создания момента $M_\beta$

### а) Магнитоэлектрический преобразователь

Любой магнитоэлектрический измерительный механизм можно рассматривать как преобразователь входной электрической величины (тока  $I_{вх}$ ) в выходную, неэлектрическую величину (момент  $M_\beta$ ). Как известно [1, 2], зависимость между входной и выходной величинами подобного преобразователя имеет вид

$$M_\beta = BS\omega I_{вх}, \quad (2)$$

где  $B$  — индукция в зазоре магнитоэлектрического механизма;

$S$  — площадь рамки;

$\omega$  — число витков рамки.

Отсюда коэффициент преобразования магнитоэлектрического механизма

$$k = \frac{M_\beta}{I_{вх}} = BS\omega. \quad (3)$$

Погрешность коэффициента преобразования

$$\gamma_k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta B}{B}$$

определяется только нестабильностью значения индукции в зазоре и составляет не более 0,02% [3].

Таким образом, при постепенном увеличении тока  $I_{вх}$  от нуля выходной момент  $M_\beta$ , приложенный к подвижной части механического узла (рис. 1), также будет постепенно увеличиваться. Амперметр, измеряющий входной ток преобразователя  $y_{вх}$ , градуируется непосредственно в единицах момента с учетом коэффициента преобразования (3). При неизменном значении момента инерции подвижной части и порогового значения ускорения, при котором срабатывает фиксирующее устройство, градуировка амперметра может быть произведена с использованием также равенства (1). Погрешность измерения момента трогания в этом случае определяется в основном погрешностью показывающего прибора (амперметра).

### б) Электромагнитный преобразователь

Естественной выходной величиной электромагнитного преобразователя является сила притяжения, приложенная к подвижной части через сердечник из ферромагнитного материала. Эта сила создает момент, воздействующий на подвижную часть, вследствие наличия определенного плеча

$$M_\beta = F_\beta l,$$

где  $F_\beta$  — сила тяги электромагнита;

$l$  — длина плеча.



Сила тяги электромагнита есть некоторая функция от тока  $I$ , протекающего по обмотке, и от величины воздушного зазора  $\delta$  между сердечником электромагнита и ферромагнитным выступом подвижной части, то есть

$$F_s = f(I, \delta).$$

Если материал сердечников находится в области, далекой от насыщения, то с увеличением тока  $I$  в обмотке растет сила притяжения электромагнита, что приводит к возрастанию момента  $M_s$ .

При постоянстве значений  $I$  и  $\delta$  момент, развиваемый электромагнитом, однозначно связан с током, протекающим по обмотке. Прибор, измеряющий ток, может градуироваться непосредственно в единицах момента [4].

Погрешность измерения в этом случае будет определяться нестабильностью магнитных характеристик материала сердечников.

Общая погрешность измерения зависит, кроме того, от нестабильности длины плеча  $l$  и зазора  $\delta$ , а также от погрешности показывающего прибора, измеряющего ток в электромагните.

Колебания температуры вызывают изменения магнитных свойств материала сердечников, что также приводит к появлению дополнительной температурной погрешности измерения. Следует отметить, что вследствие нелинейной зависимости магнитного потока от тока, протекающего по обмотке электромагнита с сердечником, а также вследствие наличия магнитного гистерезиса материала сердечника градуировочная характеристика электромагнитного преобразователя (зависимость момента  $M_s$  от тока  $I$ ) получается чрезвычайно сложной.

При применении электромагнита без сердечника зависимость  $M_s$  от  $I$  упрощается, однако, в этом случае для получения того же самого момента приходится значительно увеличивать напряженность магнитного поля (увеличивать число ампер-витков обмотки электромагнита).

### в) Индукционный преобразователь

Как известно [5], индукционный измерительный механизм развивает момент, приложенный к подвижной части, величина которого пропорциональна токам  $I_1$  и  $I_2$ , протекающим по обмоткам преобразователя, и синусу угла сдвига фаз между магнитными потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , создаваемыми этими токами, то есть

$$M_\beta = k I_1 I_2 \sin(\Phi_1, \Phi_2).$$

При постепенном увеличении токов  $I_1$  и  $I_2$  момент  $M_\beta$  будет также постепенно возрастать. При этом возможны два варианта получения возрастающего момента  $M_\beta$ :

- 1) увеличивать ток в одной из обмоток, поддерживая ток другой обмотки неизменным;
- 2) увеличивать токи одновременно в обеих обмотках.

Первый вариант предполагает наличие стабилизирующего устройства для питания одной из обмоток неизменным во времени током, причем погрешность стабилизации полностью входит в общую погрешность измерения. Градуировочная характеристика преобразователя в данном случае линейна

$$M_\beta = k_1 I,$$

где  $I$  — изменяющийся ток в одной из обмоток.



Второй вариант является более простым в исполнении, отсутствует необходимость в стабилизации тока, но градуировочная характеристика становится нелинейной.

Более подробно вопрос применения индукционного преобразователя для измерения момента трогания приборных шарикоподшипников рассмотрен в [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Под редакцией В. Т. Прыткова и А. В. Талицкого. Курс электрических измерений. Ч. I, Госэнергоиздат, М.—Л., 1960.
2. В. О. Арутюнов. Электрические измерительные приборы и измерения. Госэнергоиздат, 1958.
3. М. М. Фетисов. Новые автоматические компенсационные приборы для измерения неэлектрических величин. Ч. I, ЛДНТП, Л., 1960.
4. И. Г. Лещенко, Э. Ф. Колотий, Ю. А. Баннов. Применение электромагнитного преобразователя для измерения момента трогания приборных шарикоподшипников. (Статья помещена в этом сборнике).
5. П. Н. Горюнов, С. М. Пигин, Н. Н. Шумиловский. Электрические счетчики. Госэнергоиздат, М.—Л., 1951.
6. Э. Ф. Колотий. Индукционный метод измерения момента трогания приборных шарикоподшипников. (Статья помещена в этом сборнике).