

УДК 531.01

Н.В. Михалко

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С ИНДУКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Национальный авиационный университет

Рассмотрены существующие методы проектирования датчиков перемещения с индуктивным преобразователем. Предложен унифицированный метод проектирования датчиков с индуктивным преобразователем с улучшенными метрологическими характеристиками, которые будут использоваться для измерения геометрических параметров изделий.

Ключевые слова: датчик, индуктивный преобразователь, перемещение объекта, линейно-угловые измерения.

Введение. Стремительное развитие авиационной и машиностроительной отраслей требует в технологическом процессе изготовления деталей и изделий высокоточного контроля, их геометрической точности. Применение датчиков с индуктивным преобразователем повышает точность и достоверность результатов измерения.

Точность измерений геометрических параметров деталей с помощью датчиков индуктивным преобразователем определяет степень эффективности управления, контроля и испытания объектов. В связи с этим возникает задача подавления помех, которую можно решить двумя путями. Первый путь – повышение инструментальной точности и помехозащищенности. Второй путь – алгоритмический – основан на дополнительной обработке всей совокупности измерительной информации с учетом сведений о вероятностных характеристиках параметров объекта и погрешностей, вызываемых действием помех.

Анализ последних исследований и публикаций. Разработкой конструкций датчиков с индуктивным преобразователем занимались ученые разных стран: П. Андре, Ж. Бофрон, П. Дегут, К. Жувено, У. Зельбштейн, Б. Крегинон, П. Ливрозе, А. Мазеран, Ж. Меригу, П. Пейро, А. Пике, Ж.-К. Прижан, М. Сюньяш, Ж. Такюсель, Ж. Фулетье, Ж. Шарне, Ж.-П. Шон, . Аш Ж. [1-4].

Тенденция повышения точности измерений в машиностроении, авиационной отрасли требует разработки новых средств линейно-угловых измерений [1,2]. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых методов проектирования прецизионных датчиков с индуктивным преобразователем [3,4]. Анализ последних публикаций показывает, что необходимо разработать помехоустойчивые датчики и на базе их прецизионные приборы для линейно-угловых измерений [5,6].

Постановка задачи. Провести анализ методов проектирования датчиков с индуктивным преобразователем, провести сравнительный анализ по эффективности и метрологическим характеристикам. Предложить новый модифицированный метод проектирования датчиков для линейно-угловых измерений, которые могут быть использованы в измерительных прецизионных головках на координатно-измерительных машинах.

Решение задачи. Показано, что при перемещении детали, которое предполагается измерить в движущихся механизмах, вовлекается в один из элементов магнитного контура, который вызывает тем самым изменение потока через измерительную обмотку в соответствующий электрический сигнал. Индуктивные преобразователи делятся на две группы: датчики с переменным коэффициентом самоиндукции и трансформаторные датчики, в которых изменение положения подвижной системы вызывает изменение коэффициента взаимной индукции.

Индукционный преобразователь, как правило, состоит из двух катушек: первичной и вторичной. На первичную катушку подается переменное опорное напряжение V_{ref} , индуцирующее переменное напряжение V_{out} во вторичной катушке (рис. 1). Амплитуда V_{out} зависит от величины потокосцепления между двумя катушками. Существует два способа изменения потокосцепления. Один из них – перемещение объекта, изготовленного из ферромагнитного материала, внутри магнитного контура. Это приводит к изменению магнитного сопротивления между катушками, что в свою очередь. Вызывает изменение потокосцепления. На этом принципе реализуются линейно-регулируемые дифференциальные трансформаторы (ЛРДТ) и поворотнорегулируемые дифференциальные трансформаторы (ПРДТ) и индуктивные датчики приближения. Другой метод заключается в физическом перемещении одной катушки относительно другой.

Рассмотрим, каким достоинствами обладают методы ЛРДТ и ПРДТ:

1. Датчики, реализованные на их основе, являются бесконтактными устройствами, с практически нулевыми потерями на трение.
2. Незначительным гистерезисом как магнитным, так и механическим.
3. Очень низким выходным импедансом.
4. Высокой помехоустойчивостью и очень высокой разрешающей способностью.

Рассмотрим конструкции в поперечном сечении индуктивного датчика.

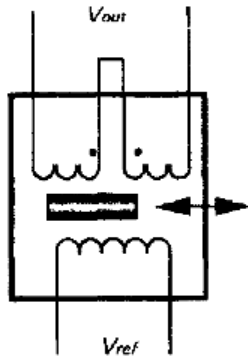


Рис. 1. Принципиальная схема линейно-регулируемого дифференциального трансформатора



Рис. 2. Поперечный индуктивный датчик приближения

Для измерения сравнительно небольших перемещений объектов из ферромагнитных материалов применяют поперечный индуктивный датчик приближения.

Известно, что индуктивный датчик подключается в цепь, питаемую источником синусоидального напряжения, частота которого обычно ограничена несколькими десятками килогерц с тем, чтобы уменьшить помехи, магнитные потери и потери из-за токов Фуко

$$V_m = kx(t)E_s \cos(\omega_s t + \Phi), \text{ где } V_m - \text{измеряемое напряжение, } E_s \cos \omega_s t \text{ напряжение питания, } x(t) - \text{перемещение.}$$

Известно, что изменения индуктивного элемента могут служить для модуляции частоты колебаний пропорционально перемещению. По своей природе индуктивные датчики, с одной стороны, чувствительны к внешним электромагнитным полям, а с другой, способны сами их индуцировать. Поэтому индуктивные датчики необходимо помещать внутри кожуха, служащего магнитным экраном.

Если подвижным элементом является ферромагнитный сердечник, то его перемещение при поступательном движении преобразовывается в изменение самоиндукции катушки или в изменение коэффициента связи между первичной и вторичной обмотками трансформатора.

Коэффициент самоиндукции L катушки из N витков проволоки зависит от магнитного сопротивления связанного с ней магнитного контура: $L = \frac{N^2}{R}, R = \oint \frac{dl}{\mu s}$,

где μ - магнитная проницаемость, s - площадь сечения контура.

Преимущество данного преобразователя в том, что он является бесконтактным устройством, а недостаток – он может работать только с ферромагнитными объектами и измерять лишь небольшие расстояния.

Рассмотрим магнитный контур с измеряемым зазором.

Перемещение Δx обкладки приводит к изменению $\Delta l_0 = 2\Delta x$ зазора, и индуктивность получает значение:

$$L + \Delta L = \frac{\mu_0 N^2 s}{l_0} \cdot \frac{1}{1 + 2\Delta x / l_0}.$$

Рассмотрим конструкцию катушка с подвижным сердечником. Ферромагнитный сердечник связывают с деталью, положение или перемещение которой желают измерить. Этот сердечник погружен на переменную глубину l_f в обмотку, содержащую N равномерно размещенных на длине l витков проволоки.

Для такой схемы имеем [6]: $L = \mu_0 \left(\frac{N^2}{l^2}\right) [s_0 l + (\mu_f - 1) s_f l_f + 2k \sqrt{s_0 \{s_0 + (\mu_f - 1) s_f\}} \cdot \sqrt{(l - l_f) \cdot l_f}]$.

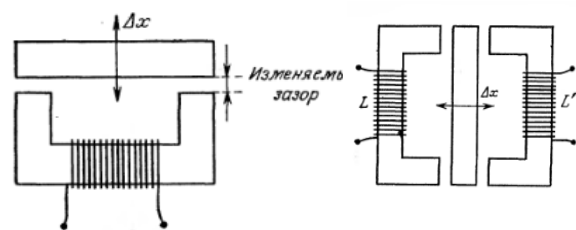


Рис. 3 Принципиальная схема датчика с измеряемым контуром.

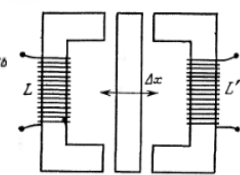


Рис. 4 Объединение двух магнитных цепей с противоположным изменениями зазора.

Рассмотрим индуктосин, который используется для линейных перемещений.

Индуктосин используется для измерения линейных перемещений механических элементов ЭП или исполнительных органов рабочих машин. По своему устройству он напоминает линейный асинхронный двигатель и имеет плоский статор и подвижный ротор. Первичная обмотка, расположенная на статоре, подключается к однофазной сети переменного тока, при этом на вторичной обмотке при перемещении ротора будет наводиться ЭДС, зависящая от его положения. Точность индуктосинов может достигать нескольких микрон.

Линейный индуктосин представляет собой линейку, на одной стороне которой нанесена плоская печатная обмотка из медной фольги, изолированная от основания линейки слоем диэлектрика. Обмотка имеет вид «меандра» с постоянным шагом 2 мм. Шаг обмотки – это расстояние между серединами двух соседних поперечных проводников. Головка преобразователя представляет собой как бы часть линейки, на стороне которой, обращенной к последней, нанесены две секционированные плоские печатные обмотки из медной фольги, сдвинутые друг относительно друга на 1/4 шага и изолированные от стального основания диэлектриком.

Линейные индуктосины выполняются всегда из металла (как правило, из стали). Круговой индуктосин состоит из двух дисков (ротора и статора), один из которых вращается на валу, а другой – неподвижен. На торцевых поверхностях дисков, обращенных друг к другу, нанесены обмотки в виде «меандра» с постоянным шагом, аналогично линейному индуктосину. Диски могут быть изготовлены как из изоляционных материалов (керамика, стекло), так и из металла (сталь, алюминиевый сплав, чугун).

В зависимости от способа подачи напряжений, питающих индуктосины, выходные сигналы преобразователя могут иметь различную форму.

Если напряжение подано на головку, то периодически изменяющийся сигнал смещается по фазе относительно питающих напряжений или же сигнал изменяется по фазе на 180° при достижении положения,

заданного соотношением амплитудных значений питающих напряжений.

Из рис. 6 видно, что измеряемое напряжение, при необходимости усиленное, выпрямляется в фазочувствительной схеме, т. е. применяется синхронное детектирование. Последняя операция может быть также выполнена выпрямлением по отдельности напряжений каждой вторичной обмотки и дифференциальным включением выпрямленных напряжений.

Выводы. Проведен анализ методов проектирования датчиков с индуктивным преобразователем, который используется для линейно-угловых измерений в прецизионных головках на координатно-измерительных машинах. Предложен метод проектирования новых датчиков с индуктивным преобразователем.

Список литературных источников

1. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин/ под ред. Е.О. Полищука. – Киев; Высшая школа, 1984. С. 284-288.
3. Савостьянов В.П., Филатова Г.А., Филатов В.В. Расчет и конструирование деталей аппаратуры САУ. –М.: Машиностроение, 1982. - С.207-219.
4. Аш Ж., Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн.1. Пер. с франц. –М.: Мир, 1992. – 480 с.
5. Кончаловский В.Ю., Купершмидт Я.А., Сыропятова Р.Я, Харченко Р.Р. Электрические измерительные преобразователи / Под ред. Р.Р. Харченко. – М.-Л.: Энергия, 1968. – 408 с.
6. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин: учеб. пособие / А. М. Туричин; общ. ред. П. В. Новицкого. - 4-е изд., перераб. - М. ; Л. : Энергия, 1966. – 690 с.

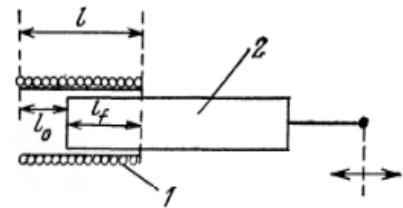


Рис. 5 Принципиальная схема катушки с подвижным сердечником:
1 – катушка, 2 – магнитный сердечник

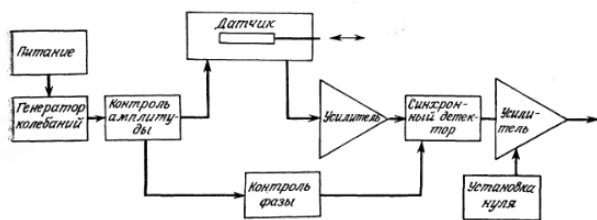


Рис. 6 Блок-схема измерительной цепи с использованием синхронного детектирования сигнала дифференциального трансформатора