

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОРШНЯ ГИДРОЦИЛИНДРА НА ОСНОВЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ЭФФЕКТА

Федотов А.Г., Ясовеев В.Х.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа

Ключевые слова: гидроцилиндр, магнитострикция, датчик положения, волновод, измерение перемещений, гидравлические системы.

Аннотация. В статье рассматривается система измерения положения поршня гидроцилиндра на основе магнитострикционного эффекта. Кратко рассмотрены существующие методы измерения перемещений и обоснован выбор магнитострикционного датчика. Описан принцип работы измерительной системы, приведена её структурная схема и выполнен расчет основных параметров волновода и электронных узлов. Полученные результаты показывают возможность применения разработанной системы для контроля положения поршня в гидравлических приводах.

A SYSTEM FOR MEASURING THE POSITION OF A HYDRAULIC CYLINDER PISTON BASED ON THE MAGNETOSTRICTIVE EFFECT

Fedotov A.G., Yasoveev V.Kh.

Ufa University of Science and Technology, Ufa

Keywords: hydraulic cylinder, magnetostriction, position sensor, waveguide, displacement measurement, hydraulic systems.

Abstract. This article examines a system for measuring hydraulic cylinder piston position based on the magnetostrictive effect. Existing displacement measurement methods are briefly reviewed and the choice of a magnetostrictive sensor is justified. The operating principle of the measuring system is described, its structural diagram is presented, and the key parameters of the waveguide and electronic components are calculated. The results demonstrate the feasibility of using the developed system for monitoring piston position in hydraulic drives.

Введение

Гидравлические приводы широко востребованы в строительном-дорожном машиностроении и робототехнических комплексах. Ключевым условием их эффективного функционирования является достоверное определение положения штока гидроцилиндра, данные о котором используются в контурах автоматического управления для повышения точности позиционирования и эксплуатационной надежности оборудования [1].

Для измерения линейных перемещений применяются потенциометрические, индуктивные, ультразвуковые и магнитострикционные преобразователи. Однако, значительная часть существующих решений имеет ограничения по ресурсу и эксплуатационным параметрам вследствие механического износа, восприимчивости к внешней среде или сложности конструкции [2].

Перспективной альтернативой являются магнитострикционные датчики. Их бесконтактный принцип действия нивелирует влияние износа на метрологические характеристики. Согласно данным литературы, такие преобразователи

обеспечивают погрешность измерения до 0,05 мм и обладают высокой устойчивостью к вибрациям и температурным колебаниям.

Принцип работы системы

Принцип функционирования магнестрикционного датчика базируется на явлении магнестрикции, представляющем собой деформацию ферромагнитного материала под воздействием внешнего магнитного поля [3].

В измерительной системе, интегрированной в гидроцилиндр, размещен магнестрикционный волновод, выполненный из материала с выраженными магнестроупругими свойствами. На поршне гидроцилиндра закреплен постоянный магнит, жестко связанный с его подвижной частью. При подаче возбуждающего токового импульса по проводнику, проходящему внутри волновода, генерируется круговое магнитное поле. В области локализации позиционного магнита происходит суперпозиция магнитных полей, что инициирует эффект Видемана, заключающийся в возникновении деформации волновода. Возникшая упругая деформация распространяется вдоль волновода в виде ультразвуковой крутильной волны. При достижении волной приемного преобразователя, последний преобразует ее в электрический сигнал. На основе временного интервала между моментом генерации возбуждающего импульса и регистрацией отклика вычисляется расстояние до магнита и, соответственно, текущее положение поршня гидроцилиндра. По формуле:

$$L = V_{узв} \cdot \Delta t ,$$

где L – искомое расстояние, между катушкой считывания и позиционным магнитом; $V_{узв}$ – скорость ультразвуковой волны в волноводе, Δt – временной интервал между подачей импульса возбуждения и приходом ультразвуковой волны, на катушку считывания.

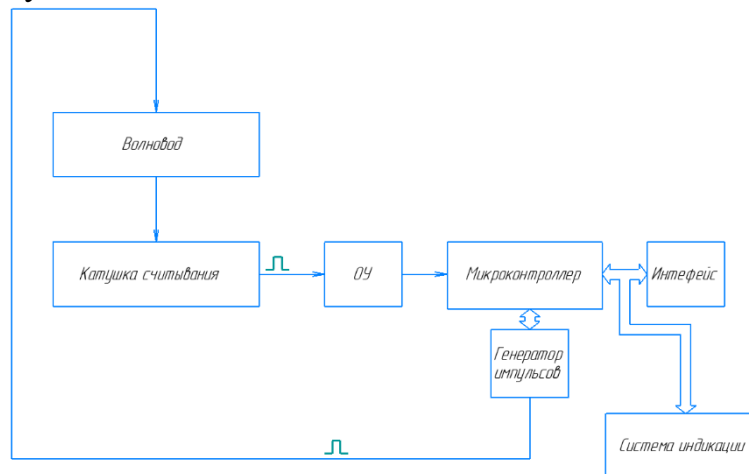


Рис. 1. Структурная схема магнестрикционного датчика положения основные параметры системы

Микроконтроллер (МК) формирует управляющий сигнал, поступающий на генератор импульсов, который подает токовый импульс в измерительный элемент (ИЭ). В ИЭ возникает магнитное поле вследствие прохождения импульса тока по проводнику, расположенному в волноводе. При взаимодействии данного поля с полем позиционного магнита происходит их суперпозиция:

$$B_{res} = B_{perm} + \mu_0 H ,$$

где B_{res} – результирующая магнитная индукция в области взаимодействия полей, B_{perm} – магнитная индукция постоянного магнита, μ_0 – магнитная постоянная, H – напряженность магнитного поля.

В результате суперпозиции полей в области локализации магнита формируется неоднородное магнитное поле, индуцирующее магнитоупругие напряжения в материале волновода. Магнитострикционный эффект обуславливает возникновение локальной деформации волновода в зоне воздействия магнита [4].

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L} = \gamma \cdot H,$$

где λ – магнитострикционная деформация, γ – коэффициент магнитострикции.

Угол между полями влияет на магнитострикционную деформацию:

$$\lambda = \frac{3}{2} \lambda_s \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right),$$

где λ_s – насыщенная магнитострикция, θ – угол закручивания волновода.

Вследствие деформации волновода генерируется крутильная волна, распространяющаяся по волноводу от точки возбуждения в противоположных направлениях [5]. С одной стороны, она гасится демпфирующим элементом, с другой – поступает на преобразователь крутильных колебаний в продольные, который оснащен считывающей катушкой. Распространение волны вдоль волновода происходит с постоянной скоростью, определяемой выражением:

$$V_{узе} = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

где G – модуль сдвига, ρ – удельная плотность материала.

Крутильную волну можно описать уравнением:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = V_{узе}^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$

где $\theta(x, t)$ – угол закручивания волновода в точке x , в момент времени t .

Решение этого уравнения – бегущая волна:

$$\theta(x, t) = \theta_0 e^{i(kx - \omega t)},$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, $\omega = 2\pi f$ – угловая частота ультразвуковой волны.

Детектирование волны осуществляется индуктивным методом. На противоположном конце волновода размещен преобразователь крутильных колебаний в продольные, состоящий из считывающей катушки, постоянного магнита и ферромагнитного сердечника. Сердечник одним концом механически сопряжен с волноводом, а другим – с корпусом гидроцилиндра; все соединения выполняются жестко, посредством сварки для обеспечения передачи крутильного импульса от волновода к сердечнику. При недостаточно жесткой фиксации одного из концов сердечника, воздействие крутильной волны вызовет не его упругую деформацию, а лишь колебательные перемещения, что не приведет к изменению магнитной проницаемости и, следовательно, сделает детектирование крутильной волны невозможным. Крутильная волна создает переменное магнитное поле, которое наводит ЭДС в приемной катушке согласно закону Фарадея:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt},$$

где N – число витков катушки, $\Phi = B \cdot A$ – магнитный поток, B – магнитная индукция, связанная с деформацией волновода; A – площадь поверхности, которую пронизывает магнитный поток.

Магнитная индукция B зависит от угла закручивания θ :

$$B \approx \mu_0 \mu_H \beta \theta,$$

где μ_0 – магнитная постоянная, μ_H – относительная магнитная проницаемость, β – коэффициент магнитоупругой связи.

Таким образом, ЭДС в катушке:

$$\varepsilon \approx -NBA \frac{d\theta}{dt}.$$

Положение магнита определяется по времени задержки между моментом подачи импульса в задающую катушку (t_0) и моментом прихода сигнала в приемную катушку (t_1). Расстояние до магнита:

$$L = V_{\text{узб}} \Delta t = V_{\text{узб}} (t_1 - t_0).$$

Заключение

Применение магнитострикционного метода обеспечивает реализацию бесконтактного измерения линейных перемещений. Рассмотренная измерительная система может быть использована в гидравлических приводах промышленного оборудования и автоматизированных системах управления.

Список литературы

1. Голямина И.П. Ультразвук: Маленькая энциклопедия / под общ. ред. И.П. Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
2. Патент №2109399 РФ. Магнитострикционный преобразователь перемещений / М.А. Ураксеев, В.Х. Ясовеев, Р.Ю. Мукаев, Е.С. Березовская. – Заявка №94033244 от 08.09.1994; опубл. 20.04.1998.
3. Ясовеев В.Х., Исхаков Р.Р. Принципы построения магнитострикционных датчиков перемещения // Датчики и системы. – 2001. – №3. – С. 53-60.
4. Шмелев А.А., Ясовеев В.Х. Интеллектуальный магнитострикционный датчик линейных перемещений // Датчики и системы. – 2014. – № 12. – С. 12-15.
5. Надеев А.И. Интеллектуальные магнитострикционные преобразователи параметров движения сверхбольшого диапазона: Дисс. ... докт. техн. наук. – Астрахань, 2000. – 356 с.

Сведения об авторах:

Федотов Александр Георгиевич – магистрант;

Ясовеев Васих Хаматович – д.т.н., профессор.