

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В КООРДИНАТНЫХ ПОЗИЦИОНЕРАХ НА ЛИНЕЙНЫХ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Канд. техн. наук ЖАРСКИЙ В. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Наиболее часто применяемый в линейных шаговых двигателях (ЛШД) датчик положения индуктора по зубцовой геометрии статора представляет собой инкрементальный электромагнитный преобразователь положения зубцовой магнитной структуры полюсов датчика по отношению к ферромагнитным полюсам статора [1, 2]. Конструктивно датчик непосредственно встраивается в индуктор, а его магнитная система рассчитывается на рабочий магнитовоздушный зазор в пределах 10–50 мкм.

Выходным информационным сигналом датчика является стандартный интерфейс в виде $\sin$ и $\cos$ электрических сигналов напряжением 1 В, однозначно определяющих положение индуктора относительно зубцовой структуры статора. Один из разновидностей такого датчика – индукционный тахометр [2], состоящий из двух П-образных магнитомягких сердечников, между которыми находится постоянный магнит. На его магнитомягких сердечниках расположены обмотки. Недостаток такого датчика состоит в том, что его информационные сигналы зависят как от положения, так и от скорости его перемещения. Кроме того, выходной сигнал такой магнитной системы имеет значительный коэффициент нелинейных искажений, и выделить позиционную составляющую с тахометра с достаточной точностью представляется весьма сложной программно-аппаратной задачей.

Наиболее полно требованиям системы измерений для реализации обратных связей в координатных позиционерах на ЛШД удовлетворяет датчик положения, содержащий два П-образных магнитопровода, шунтированных постоянным магнитом. При этом магнитопроводы выполняются из трех частей, между которыми установлены преобразователи Холла [2].

Недостатком данного устройства является наличие значительной погрешности информационных сигналов за счет гистерезиса перематничиваемых П-образных магнитопроводов. Наличие же воздушных зазоров между датчиком и рабочей поверхностью статора приводит к тому, что амплитуда информационного сигнала почти на порядок меньше постоянной составляющей, что снижает стабильность точностной характеристики системы измерений. Поэтому проблема разработки электромагнитного безгистерезисного датчика положения и измерительной системы на его основе для координатных позиционеров на ЛШД – актуальная задача, которой посвящено настоящее исследование.

Безгистерезисный датчик положения. Для повышения точностных и динамических параметров систем перемещений на основе приводов прямого действия, и в частности ЛШД с датчиками обратной связи по положению, необходимо добиваться улучшения метрологических параметров самих датчиков положения, обеспечивая возможность использования последних в линейных, планарных, торцевых и цилиндрических координатных позиционерах [3].

Конструкция такого датчика (рис. 1) была разработана и создана на предприятии «Рухсервомотор». Особенность датчика состоит в том, что он содержит два составных П-образных магнитопровода, на полюсах сердечников каждого из которых сформированы зубцы, разность расположения групповых координат которых равна $(a \pm 0,5)\tau$, где a – целое число, определяемое как константа конкрет-

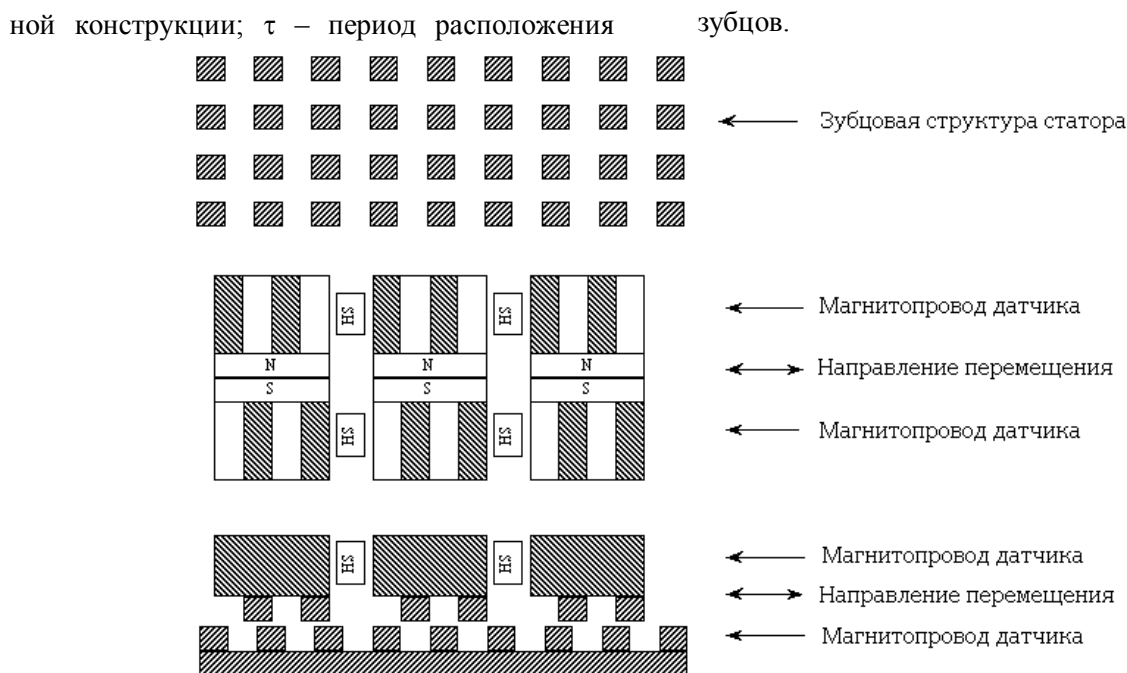


Рис. 1. Конфигурация датчика положения для координатного электропривода прямого действия

Преобразование магнитной индукции осуществляется в специальном составном магнитопроводе, состоящем из двух П-образных частей, в которые последовательно включены постоянные магниты, показанные на рис. 1 символами NS. Так как преобразователи магнитной индукции устанавливаются вблизи пары одноименных полюсов П-образных магнитопроводов, выходной сигнал будет прямо пропорционален разности их МДС. Такой датчик дополняется также третьим, идентичным первым двум, магнитопроводом и, по крайней мере, третьим преобразователем магнитной индукции, выполненным в виде преобразователя Холла (рис. 1).

Базовая конструкция датчика положения содержит три составных П-образных магнитопровода, в каждый из которых последовательно включен постоянный магнит NS. Между магнитопроводами попарно располагаются датчики Холла HS (предварительно подобранные по соответствию токов смещения). При этом в магнитном отношении HS включаются в противофазе для компенсации постоянных составляющих магнитных потоков в сердечниках. Такое конструктивное расположение датчиков Холла обеспечивает измерение только разности магнитных потенциалов в смежных магнито-

проводах, исключив синфазные составляющие от динамического (в процессе движения) изменения магнитовоздушного зазора двигателя. В технологическом смысле такая конструкция не критична в отношении разности потоков постоянных магнитов NS в смежных магнитопроводах. На полюсах сердечников каждого магнитопровода сформированы зубцы. Разность координат расположения между одноименными зубцами (групповых координат) двух полюсов в П-образных магнитопроводах равна $(a \pm 0,5)\tau$.

На рис. 2 показана конструктивная схема встраивания описанного выше датчика в планарный ЛШД, который содержит ферромагнитный зубчатый статор и индуктор. Статор выполнен в виде листа из ферромагнитного материала с пазами на верхней поверхности, заполненными немагнитным материалом. Пазы расположены по осям X, Y декартовой системы координат.

При работе двигателя на его индукторе закрепляют три датчика положения: два датчика, например, на координату X и один – на координату Y (рис. 2). Два датчика положения на одной из координат двигателя позволяют по разности их показаний легко установить факт разворота индуктора и, следовательно, бороться

посредством соответствующего алгоритма уп-

равления с этим нежелательным явлением.

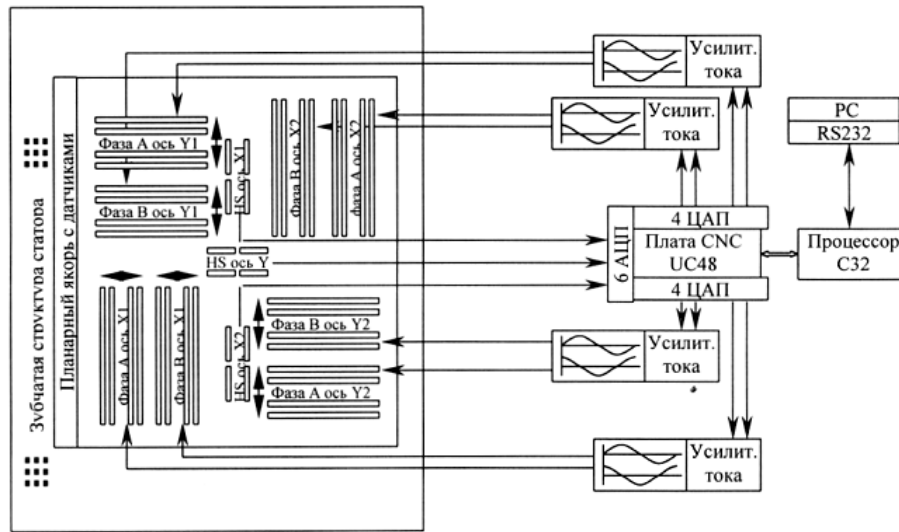


Рис. 2. Конструктивная схема встраивания датчика положения

На практике датчики положения уже на этапе изготовления двигателя конструктивно встраиваются в корпус индуктора. Чтобы на сигнал датчика не влияло перемещение в ортогональном направлении, длина зубцов выбирается по величине, близкой к целому числу периодов расположения зубцов.

Рабочий зазор между индуктором и статором обеспечивается воздушной опорой или подшипником. Для создания воздушной (аэро-статической) опоры в зазор подают сжатый воздух. Сила притяжения, создаваемая постоянными магнитами индуктора, к статору при этом уравнивается силой отталкивания, обусловленной давлением воздуха, и индуктор «всплывает» над статором. Индуктор перемещается вдоль статора за счет энергии электромагнитного взаимодействия тяговых электромагнитов индуктора с зубцовой структурой статора.

Расчет электромагнитной системы датчика. Схемы замещения и фазовая диаграмма датчика Холла, используемого для планарных позиционеров, приведены на рис. 3, 4.

В первом приближении магнитное сопротивление воздушного зазора между статором и полюсом сердечника П-образного магнитопровода датчика, у которого зубцы расположены напротив зубцов статора двигателя, можно представить следующим образом:

$$R_1 = R_0 - R_m \cos(2\pi x / \tau), \quad (1)$$

где R_0 , R_m – соответственно постоянная составляющая и амплитуда первой гармоники магнитного сопротивления R_1 ; x – координата, вдоль которой перемещается датчик; τ – период зубцовой структуры.

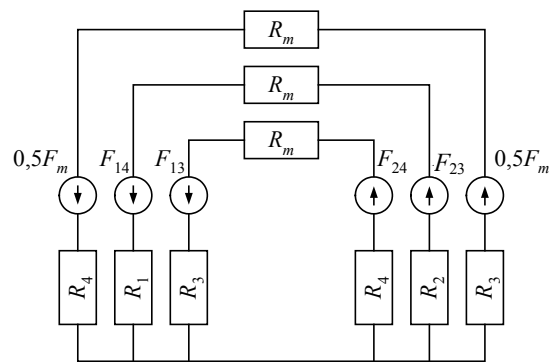


Рис. 3. Схема замещения магнитной цепи датчика

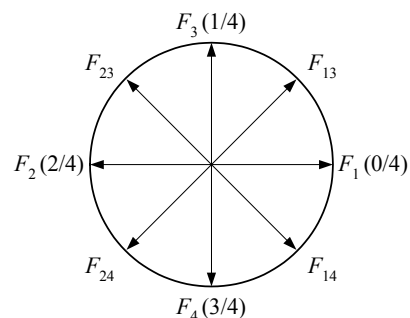


Рис. 4. Фазовая диаграмма сигналов датчика положения

Магнитные сопротивления воздушных зазоров (рис. 3) для полюсов сердечников магнитопроводов, у которых зубцы сдвинуты по отношению к нулевому положению на $0,5\tau$; $0,25\tau$; $-0,25\tau$, соответственно составляют:

$$R_2 = R_0 + R_m \cos(2\pi x / \tau); \quad (2)$$

$$R_3 = R_0 - R_m \sin(2\pi x / \tau); \quad (3)$$

$$R_4 = R_0 + R_m \sin(2\pi x / \tau). \quad (4)$$

Магнитные потоки Φ_1 , Φ_2 , создаваемые постоянными магнитами датчика, рассчитываются по формуле

$$\Phi = \Phi_1 = \Phi_2 = \frac{F_m}{R_m + R_1 + R_2} = \frac{F_m}{R_m + 2R_0},$$

где F_m – МДС постоянного магнита.

МДС F_{12} , на основании которой определяется амплитуда выходного сигнала датчика, рассчитывается следующим образом:

$$F_{12} = -F_{21} = \Phi(R_2 - R_1) = 2\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau}\right).$$

Поскольку преобразователи Холла расположены между магнитными сопротивлениями R_1 и R_2 , их информационные сигналы прямо пропорциональны амплитудам МДС F_{12} , F_{21} и сдвинуты по фазе на 180° (рис. 3).

Из-за разброса технологических и конструктивных параметров датчиков Холла в выходном сигнале, помимо первой гармоники, присутствуют небольшая постоянная составляющая и вторая гармоника одного знака. Для их устранения используется дифференциальное включение преобразователей Холла. Координату планарного позиционера можно определять, если априори известно, в каком квадранте единичного круга находишься. Этот недостаток устраняется использованием второго аналогичного датчика, сдвинутого по отношению к первому в направлении перемещения на четверть периода.

В конструкции датчика Холла используется три П-образных магнитопровода и четыре преобразователя Холла, установленных между одноименными магнитными полюсами сердечни-

ков. Анализ схемы замещения датчика Холла (рис. 3) с учетом того, что преобразователи Холла расположены между магнитными сопротивлениями R_1 , R_3 ; R_1 , R_4 ; R_2 , R_3 ; R_2 , R_4 , позволяет определить МДС F_{13} , F_{14} , F_{23} , F_{24} по формулам:

$$F_{13} = \Phi(R_1 - R_3) = -\sqrt{2}\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau} - \frac{\pi}{4}\right);$$

$$F_{14} = \Phi(R_1 - R_4) = -\sqrt{2}\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau} + \frac{\pi}{4}\right);$$

$$F_{23} = \Phi(R_2 - R_3) = \sqrt{2}\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau} + \frac{\pi}{4}\right);$$

$$F_{24} = \Phi(R_2 - R_4) = \sqrt{2}\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau} - \frac{\pi}{4}\right).$$

Учитывая дифференциальное включение преобразователей Холла, выходные сигналы датчика можно рассчитать по формулам:

$$E_1 = F_{24} - F_{13} = 2\sqrt{2}\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau} - \frac{\pi}{4}\right);$$

$$E_2 = F_{23} - F_{14} = 2\sqrt{2}\Phi R_m \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau} + \frac{\pi}{4}\right).$$

Результаты экспериментального исследования разработанного датчика положения, встроенного в индуктор планарного ЛШД, с периодом зубцовой структуры 1,28 мм проводились на стенде предприятия «Рухсервомотор» [4].

Качество выходных сигналов разработанного датчика по отношению к идеальным функциям $\sin/\cos$ оценивалось по измеренным амплитудной и фазовой ошибкам. На рис. 5 приведены графики амплитудной ошибки на перемещении, равном двум периодам зубцовой структуры, а на рис. 6 – наиболее характерный график фазовой ошибки на перемещении, равном двум периодам зубцовой структуры.

Как видно из приведенных графиков, разработанный датчик положения имеет малый разброс амплитудной и фазовой ошибок по отношению к нулевому (номинальному) значению, что подтверждает его высокие метрологические показатели. Использование разработанного датчика

в планарном ЛШД позволяет обеспечить позиционирование с погрешностью не более чем ± 3 мкм.

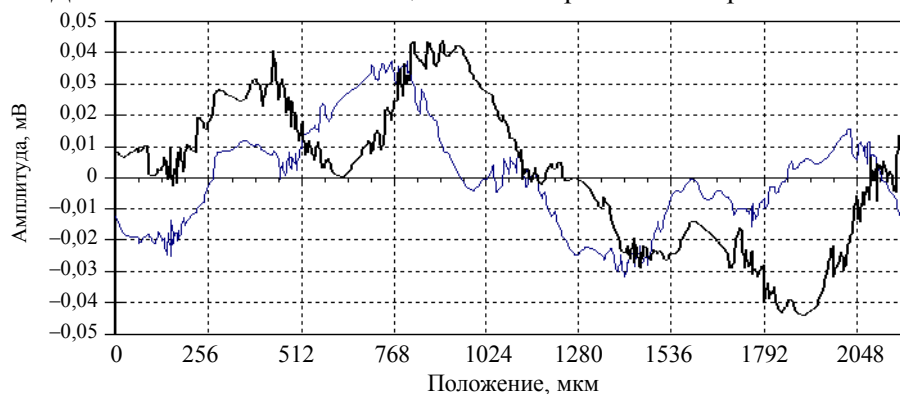


Рис. 5. Графики амплитудной ошибки

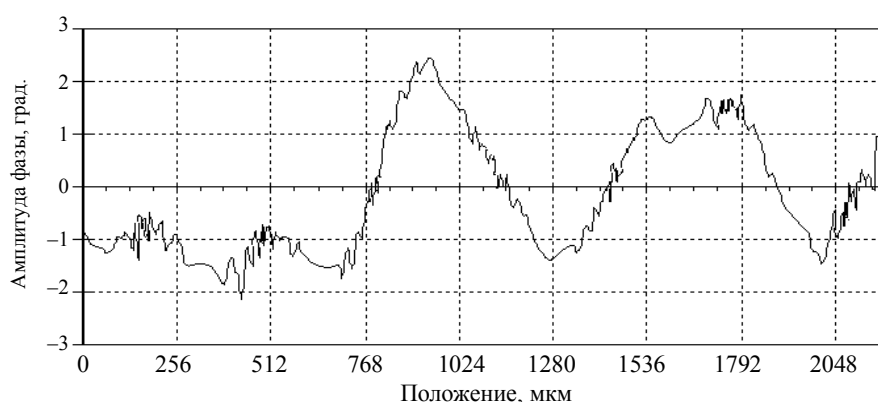


Рис. 6. График фазовой ошибки

ВЫВОДЫ

Предложено конфигурирование магнитной цепи безгистерезисного датчика положения на основе эффекта Холла в индукторе планарного линейного шагового двигателя, при котором повышение точности достигается специальным расположением П-образных магнитопроводов и постоянных магнитов и обеспечивается измерением только разности магнитных потенциалов в смежных магнитопроводах, исключая составляющие МДС, возникающие в процессе движения.

Разработанный магнитоиндукционный датчик положения на основе эффекта Холла обеспечивает стандартный синусно-косинусный выход с номинальным напряжением 1 В и нелинейными искажениями сигнала менее 1 %.

На базе рассматриваемого датчика возможно создание замкнутых по положению линейных и поворотных систем приводов прямого действия различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ляшук, Ю. Ф.** Линейный шаговый электропривод для прецизионного оборудования / Ю. Ф. Ляшук. – Минск: Технопринт, 2002. – 139 с.
2. **Прецизионные** координатные системы на основе электропривода прямого действия / С. Е. Карпович [и др.]. – Минск: ГНПКТМ «Планар», 2001. – 198 с.
3. **Карпович, С. Е.** Прецизионные системы перемещений / С. Е. Карпович, Ю. С. Межинский, В. В. Жарский // Доклады БГУИР. – 2004. – № 3(7). – С. 50–61.
4. **Измерительная** система контроля параметров позиционирования ЛШД / В. П. Огер [и др.] // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. – № 1(11)/3. – С. 167–168.

Поступила 22.02.2008