РАЗДЕЛ IX. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Грахов П.А., Федин А.В., Муллаянов Р.Р., Потапов С.А.

Устройства малых угловых перемещений с нечетным управлением на основе изгибных деформаций магнитострикционных пластин

*Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
(Россия, Уфа)*

doi: 10.18411/sr-10-06-2020-22

idsp: sciencerussia-10-06-2020-22

Устройства малых линейных и угловых перемещений широко применяются в станкостроении, в робототехнике, в оптико-механической промышленности, в измерительных и медицинских системах [1, 2]. Конструкционно надежные, со стабильными характеристиками, исполнительные устройства (ИУ) микроперемещений могут быть реализованы на основе деформаций двухслойной магнитострикционной пластины (МП) с неоднородными в слоях свойствами. Потенциал применения МП в качестве силового исполнительного устройства - актуатора также весьма высок. Изгибные деформации МП позволяют эффективно осуществлять линейные и угловые перемещения объектов в диапазоне порядка долей миллиметра и угловых минут с приемлемым быстродействием при изменении условий эксплуатации, например температуры.

При появлении тока в охватывающей МП обмотке, содержащей w витков, возникает продольное магнитное поле, которое вызывает различные линейные деформации (явления магнитострикции) слоев. МП прогибается и более значительно при выполнении слоев из материалов с различной по знаку магнитострикцией, что позволяет реализовать приводы линейных и угловых перемещений требуемого диапазона.

В консольной схеме закрепления изгибные деформации МП позволяют линейно перемещать закрепленный на свободном конце объект и поворачивать на угол $\Delta\varphi \approx 1,5 (|\lambda_{1S}| + |\lambda_{2S}|)l/Z_{\Pi}$ [4], где λ_{1S} , λ_{2S} , l и Z_{Π} – магнитострикция насыщения материалов, длина и толщина МП соответственно. При балочной шарнирной установке МП [3] может быть реализовано магнитострикционное исполнительное устройство (МСИУ) чисто угловых перемещений без побочных движений объекта.

В МСИУ угловых перемещений объект закреплен на связанной с МП поворотной части, правого шарнира. Угол поворота инерционного объекта составляет примерно $\Delta\varphi \approx 0,75(|\lambda_1| + |\lambda_2|)l/Z_{\Pi}$.

Параметры l и Z_{Π} расположены в плоскости перпендикулярной оси вращения объекта. Меньшая чем l ширина МП b дает возможность встроить МСИУ в системы, критичные к этому габариту.

МСИУ имеют ряд особенностей: без магнитной поляризации угловое перемещение осуществляется в одну сторону (четность магнитострикции), шарнир, фиксирующий ось вращения, должен обеспечивать точное движения объекта в минутном диапазоне. Желательно жесткое крепление МП на основании, но такая форма деформирования уменьшает значение $\Delta\varphi$. При изменении температуры, биметаллический прогиб МП, определяемый разностью температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) α материалов слоев, вызывает дополнительные перемещения объекта $\Delta\varphi_0$. Прогиб отсутствует, при равных в слоях значениях α , но не для самых эффективных материалов.

Кинематические схемы, которые позволяют исключить влияние биметаллического прогиба и учесть четность эффекта целесообразно искать в

направлении применения многоэлементных схем и продольной неоднородности активного элемента.

Анализ схем последовательного и параллельного включения МП по отношению к результирующему угловому перемещению объекта [3] показал перспективность МСИУ - «двухэлементных» последовательно-связанным ИУ.

Анализ схем последовательного и параллельного включения МП по отношению к результирующему угловому перемещению объекта [3] показал перспективность МСИУ - «двухэлементных» последовательно-связанным ИУ.

Рис. 1. Схема МСИУ с двумя элементами с разделным намагничиванием из МП, обратного неоднородных продольно связанных соединительным шарниром

Нечетное управление перемещениями и кинематическую компенсацию биметаллического прогиба можно организовать в последовательной продольной схеме МСИУ (рис. 1), где связаны соединительным шарниром две одинаковые МП (из сплавов с максимальной λ) с отдельными электромагнитными системами (в МП выполнены окна и уложены обмотки).

Механически последовательно-связанные, активные элементы кинематически «работают» встречно. Объект поворачивается по часовой стрелке изменением тока $I(+)$ перемещением на $\Delta\xi$ соединительного шарнира при изгибе левой МП. В другую сторону, за счет прогиба правой МП при изменении тока $I(-)$ (показаны пунктиром). Равный биметаллический прогиб обеих МП (показано штрих-пунктиром) обеспечивает их кинематическое вычитание не перемещая объект при изменении температуры.

Рис. 2. Двухэлементный МСИУ с подвижным шарниром и нечетным управлением

Одинаковые МП, расположены одна над другой с образованием пространства для укладки обмоток отдельных электромагнитных систем в схеме [4] (рис. 2). Соединительный шарнир заменен подвижным с вертикальным звеном. Правый конец нижней МП закреплен на основании, а неподвижный шарнир, связанный с верхней МП (рис. 2) смещается вверх. Нечетные перемещения объекта диапазона $\pm\Delta\varphi \approx 0,75(|\lambda_1| + |\lambda_2|)l/Z_{\Pi}$ сочетаются с синхронным прогибом МП и вычитанием температурных деформаций. МП можно располагать рядом в одной плоскости с общим соединительным шарниром.

Недостатками представленных схемных решений является не полная компенсация температурных биметаллических деформаций, возникающая в начальный период функционирования, особенно если перемещения нагрузки происходят в основном в одном направлении относительно исходного положения. В это момент, следовательно, работает только одна МП (например, верхняя по рис.2) по обмотке которой W_1 протекает ток вызывая ее нагрев. Вторая МП, по обмотке которой W_2 ток не протекает нагревается существенно меньше. Поскольку обе они являются и биметаллическими пластинами, то компенсации тепловых деформаций не происходит. После прогрева всего МСИУ (период составляет до двух часов) эта проблеме уходит.

Рис. 3. «Двухэлементная» последовательно-связанная схема МСИУ

Для устранения этого недостатка предлагается схема МСИУ (рис.3) в которой каждая МП снабжена еще одной такой же обмоткой, причем в одной МП (напрмер, в верхней по рис. 3) новая обмотка W'_1 намотана встречно имеющейся собственной обмотке, а на другой Мп W'_2 намотана согласно собственной обмотке W_2 . При перемещении объекта управляющий ток подается во все обмотки, но в ранее установленные обмотки W_1 и W_2 он поступает однополярным, а в новые W'_1 и W'_2 с учетом знака необходимого направления перемещения. Таким образом в одной МП, например, в верхней, где магнитодвижущие силы обмоток будут иметь противоположные знаки намагниченность будет близка к нулю и МП не будет прогибаться, а в нижней магнитодвижущие силы обмоток будут складываться создавая существенную намагниченность нижней МП и ее изгибное деформирование и перемещение объекта против часовой стрелки. При изменении знака управляющего тока уже магнитодвижущие силы обмоток верхней МП будут складываться, создавая существенную ее намагниченность и изгибное деформирование с перемещением объекта по часовой стрелке. В нижней МП при встречном направлении магнитодвижущих сил обмоток намагниченность и изгибное деформирование практически отсутствуют.

При этом обе МП будут практически одинаково нагреваться при протекании равных токов по обмоткам при любом знаке требуемых перемещений.

Таким образом данная «двухэлементная» последовательно-связанная схема МСИУ обладает весьма стабильными к изменениям температуры характеристиками вызываемым внутренними и внешними причинами.

1. Цодиков С.Ф., Раховский В.И. Магнестрикционные силовые приводы для суперпрецизионного позиционирования // Измерительная техника. 1997. №5. С.56-62.
2. Михайлов О.П., Рогачев Э.Б., Ивенский Ю.Н. и др. Электромагнитные и магнитные устройства в станкостроении. – М.: Машиностроение, 1974.-184 с.
3. Грахов П. А., Федин А.В. Устройства угловых перемещений на основе магнито-стрикционных пластин // Электротехнические и информационные комплексы и си-стемы.-2019.-Т.15-№1.-С.112-121.
4. Патент на полезную модель № 193012 РФ. Магнестрикционное устройство уг-ловых перемещений /Ясовеев В.Х., Грахов П.А., Федин А.В., Хайбуллин Х.М., Му-хаметьянов И.Р. - Дата публикации 10.10.2019 г.