

УДК 004.94

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Зупарова В.В., Маркова И.В., Воронцов А.А.

Пензенский государственный технологический университет, Пенза,

e-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

В данный момент магнитоотриксционные преобразователи линейных перемещений востребованы на рынке и серийно выпускаются как отечественными, так и зарубежными компаниями. Не смотря на их разнообразие, каналы магнитоотриксционных измерителей линейных перемещений условно состоят из следующих блоков: блока формирования входного сигнала, состоящего из генератора токовых импульсов и их усилителя до необходимой амплитуды; одного или нескольких волноводов (как правило, цилиндрической формы) и постоянных магнитов (наиболее часто используются сплошные и кольцевые постоянные магниты, а также в форме прямоугольного параллелепипеда); блока считывания продольных или крутильных механических колебаний и преобразования их в импульсы напряжения (как правило, индуктивный или пьезоэлемент); блока усиления выходных импульсов. Исследованиям размеров элементов на основании возможных расстояний между элементами в магнитоотриксционных преобразователях линейных перемещений на ультразвуковых волнах кручения и посвящена статья.

Ключевые слова: магнитоотриксционный преобразователь, преобразователь перемещений, магнитоотриксционный эффект, расстояния между элементами, размеры элементов конструкции

TO A QUESTION OF DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS ABOUT THE CHOICE OF THE SIZES OF ELEMENTS OF A DESIGN OF MAGNETOSTRICTION CONVERTERS OF LINEAR MOVEMENTS

Zuparova V.V., Markova I.V., Vorontsov A.A.

Penza State Technological University, Penza, e-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

At present magnetostriction converters of linear movements are demanded in the market and are produced by both the domestic, and foreign companies in lots. Despite their variety, channels of magnetostriction measuring instruments of linear movements conditionally consist of the following blocks: the block of formation of the entrance signal consisting of the generator of current impulses and their amplifier up to the necessary amplitude; one or several wave guides (as a rule, a cylindrical form) and permanent magnets (continuous and ring permanent magnets and also in the form of a rectangular parallelepiped are most often used); block of reading of longitudinal or torsional mechanical oscillations and their transformation to tension impulses (as a rule, inductive or piezoelement); block of strengthening of output impulses. Article is also devoted to researches of the sizes of elements on the basis of possible distances between elements in magnetostriction converters of linear movements on ultrasonic waves of torsion.

Keywords: the magnetostriction converter, the converter of movements, magnetostriction effect, distances between elements, the sizes of elements of a design

Выбор размеров элементов конструкции необходимо осуществлять на основании размеров ее элементов. Наиболее габаритным элементом конструкции магнитоотриксционного преобразователя линейных перемещений является волновод. Он оказывает существенное влияние на длину устройства. Оценка ширины устройства возможна на основании разработанного авторами метода определения рекомендуемого расстояния от постоянного магнита до волновода. Для объяснения способа выбора одного из параметров, а именно ширины, рассмотрим метод расчета возможного и оптимального расстояния от волновода до постоянного магнита.

Известно, что токовые импульсы, сформированные генератором блока формирования входного сигнала, поступают в среду

волновода, где распространяясь, создают в соответствии с рис. 1, вокруг волновода магнитное поле напряженностью $\vec{H}_{imp}$. Проекция напряженности магнитного поля волновода H_{imp} будет зависеть от его размеров и удаленности от его центра. Формулы расчета значения H_{imp} являются известными из курса физики и могут быть позаимствованы из справочной литературы, например, из [1].

Так, на поверхности волновода и за его пределами, то есть на расстоянии, равном радиусу волновода R_B , проекция напряженности магнитного поля, созданного токовыми импульсами H_{imp} определится согласно выражению [1]

$$H_{imp} = i / (2 \cdot \pi \cdot R_B), \quad (1)$$

где i – амплитуда токовых импульсов.

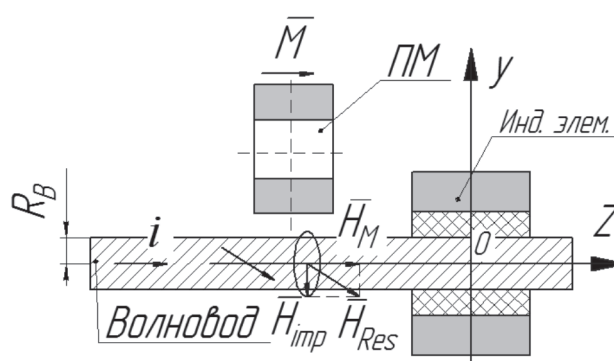


Рис. 1. Процессы, возникающие при трансляции токовых импульсов в среде волновода

Магнитное поле, созданное токовыми импульсами взаимодействует с полем, созданным постоянным магнитом (ПМ). Как уже упоминалось ранее, в магнитострикционных преобразователях перемещений наиболее часто используют сплошные и кольцевые постоянные магниты, а также постоянные магниты формы прямоугольного параллелепипеда. Напряженность магнитных полей, созданных постоянными магнитами указанных форм, а также вывод формул расчета подробно изложен в [2].

Так, для постоянного магнита формы прямоугольного параллелепипеда напряженность магнитного поля в точке наблюдения определится согласно выражению [2].

Таким образом, имея на этапе разработки магнитострикционных преобразователей перемещений (МПП) информацию о свойствах и параметрах магнита, используя формулы, приведенные в [2], можно рассчитать напряженность в любой точке наблюдения, удаленной на расстояние R от центра ПМ.

$$\begin{aligned}
 H_{MZ} = M \cdot \arcsin & \left[\frac{\left(\frac{x}{z-h_M} \right) \cdot \left(\frac{y-b_M}{\sqrt{(y-b_M)^2 + (z-h_M)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{z-h_M} \right)^2}} \right] - \arcsin \left[\frac{\left(\frac{x}{z-h_M} \right) \cdot \left(\frac{y}{\sqrt{(y)^2 + (z-h_M)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{z-h_M} \right)^2}} \right] - \\
 & - \arcsin \left[\frac{\left(\frac{x-a_M}{z-h_M} \right) \cdot \left(\frac{y-b_M}{\sqrt{(y-b_M)^2 + (z-h_M)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-a_M}{z-h_M} \right)^2}} \right] + \arcsin \left[\frac{\left(\frac{x-a_M}{z-h_M} \right) \cdot \left(\frac{y}{\sqrt{(y)^2 + (z-h_M)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-a_M}{z-h_M} \right)^2}} \right] + \\
 & + \arcsin \left[\frac{\left(\frac{x-a_M}{z} \right) \cdot \left(\frac{y-b_M}{\sqrt{(y-b_M)^2 + (z)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-a_M}{z} \right)^2}} \right] - \arcsin \left[\frac{\left(\frac{x-a_M}{z} \right) \cdot \left(\frac{y}{\sqrt{(y)^2 + (z)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-a_M}{z} \right)^2}} \right] -
 \end{aligned}$$

$$-\arcsin \left[\frac{\left(\frac{x}{z} \right) \cdot \left(\frac{y-b_M}{\sqrt{(y-b_M)^2 + (z)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x-a_M}{z} \right)^2}} \right] + \arcsin \left[\frac{\left(\frac{x}{z} \right) \cdot \left(\frac{y}{\sqrt{(y)^2 + (z)^2}} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{z} \right)^2}} \right], \quad (2)$$

где H_{MZ} – проекция напряженности магнитного поля ПМ на ось OZ ; M – намагниченность магнита; a_M , b_M , h_M – длина, ширина и высота постоянного магнита соответственно; x, y, z – координаты точки наблюдения относительно центра ПМ.

В результате взаимодействия магнитных полей, созданных постоянным магнитом и токовым импульсом, т.е. H_{MZ} и H_{imp} , происходит формирование результирующего магнитного поля напряженностью $\vec{H}_{Res}$ (рис. 1), значение которого можно определить по принципу суперпозиций:

$$(H_{Res})^2 = (H_{imp})^2 + (H_{MZ})^2 \quad (3)$$

Используя выражения (1)–(3) можно определить значение результирующей напряженности магнитного поля в любой точке наблюдения.

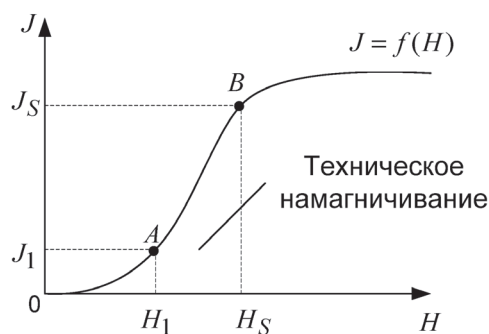
Одной из трудностей, возникающих при анализе измерительных каналов МПП, является выбор значения результирующей напряженности магнитного поля на поверхности волновода. Это значение соглас-

но [3, 4, 5] должно выбираться в диапазоне $H_1 \leq H_{Res} \leq H_S$ (рис. 2а), где H_1 и H_S – напряженности магнитного поля на краях линейного участка кривой $J=f(H)$, H_S – напряженность технического насыщения.

Необходимо отметить, что кривая намагничивания материала волновода $J=f(H)$, изображенная на рис. 2а, зависит от его предыстории и может использоваться для расчетов в случае, если волновод не находился в состоянии насыщения. В остальных случаях выбор значений напряженностей H_1 и H_S необходимо выполнять в соответствии со статической петлей гистерезиса, изображенной на рис. 2б.

Отсутствие справочных данных и способов расчета значений напряженностей магнитного поля H_1 и H_S , а также отсутствие рекомендуемого значения результирующей напряженности магнитного поля H_{RR} , представляет проблему, с которой приходится сталкиваться при расчете значения результирующей напряженности магнитного поля и анализе измерительных каналов МПП в целом.

а



б

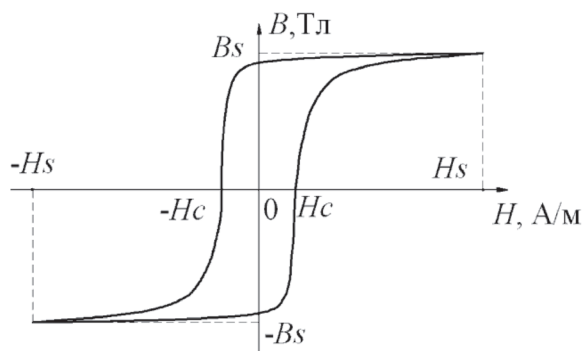


Рис. 2. Свойства материала волновода:

а – характеристическая кривая намагничивания не находившегося в состоянии насыщения;
б – статическая петля гистерезиса

Так как, согласно рис. 2б, рекомендуемое значение результирующей напряженности магнитного поля H_{RR} в среде волновода должно быть в интервале $H_C \leq H_{RR} \leq H_S$, то для разрабатываемых конструкций МПП рекомендуемое значение результирующей напряженности H_{RR} предлагается рассчитывать по формуле:

$$H_{RR} = (H_C + B_S / \mu \mu_0) / 2, \quad (4)$$

где H_C – коэрцитивная сила материала волновода; $H_S = B_S / \mu \mu_0$ – напряженность насыщения материала волновода; B_S – индукция насыщения; μ – магнитная проницаемость; μ_0 – магнитная постоянная; H_C , B_S и μ – являются справочными величинами [5].

Таким образом, для расчета одного из параметров, а именно ширины магнито-стрикционного преобразователя необходимо выполнить следующие действия:

1. Задать параметры постоянных магнитов и волноводов;
 2. Справочно определить значения величин H_C , B_S и μ .
 3. По формуле (3) рассчитать рекомендуемое значение результирующей напряженности магнитного поля H_{RR} .
 4. По формулам (1), (2) и (3) рассчитать рекомендуемое значение расстояния от центра ПМ до центра волновода.
 5. Рассчитать ширину и высоту корпуса.
- Подобный расчет на этапе проектирования подобных устройств, позволяет более

точно определить габариты корпуса разрабатываемого МПП и снизить затраты на изготовление как прототипа МПП, так и их серийного выпуска.

Список литературы

1. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнито-стрикционных наклонеров, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда / А.А. Воронцов, Ю.Н. Слесарев, Э.В. Карпухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19; № 1. – С. 25–29.
2. Воронцов А.А. Исследование оптимального значения результирующей напряженности магнитного поля в двухкоординатных магнито-стрикционных наклонерах с использованием сплошных постоянных магнитов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, В.А. Володин, Р.В. Шабнов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2013. – № 3. – С. 299–305.
3. Воронцов А.А. Анализ распределения и моделирование магнитных полей двухкоординатных магнито-стрикционных наклонеров / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Т.В. Дарченко, В.А. Володин // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2013. – № 3. – С. 306–310.
4. Воронцов А.А. Анализ и математическое моделирование эффективно проводящего слоя в двухкоординатных магнито-стрикционных наклонерах / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Д.И. Маркин, Т.В. Дарченко // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2013. – № 3. – С. 311–315.
5. Воронцов А.А. Исследование оптимального значения результирующей напряженности магнитного поля в двухкоординатных магнито-стрикционных наклонерах с использованием кольцевых постоянных магнитов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Р.В. Шабнов, И.В. Шувалова // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2013. – № 3. – С. 316–322.