

УДК 004.94

К ВОПРОСУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

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

Пензенский государственный технологический университет, Пенза,

e-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

Статья посвящена математическому моделированию сигналов воспроизведения магнитоотрицательных преобразователей линейных перемещений. Подробно рассмотрен вопрос, связанный с расчетом процессов возбуждения, трансляции и считывания ультразвуковых волн на фиксированном расстоянии и при различных размерах элементов. Особое внимание в статье уделяется исследованию сигнала воспроизведения при различных значениях параметров постоянных магнитов цилиндрической формы. Также произведены исследования зависимостей выходного сигнала от параметров катушки воспроизведения (соленоид), предназначенной для считывания ультразвуковых волн кручения. Было показано, что амплитуда выходного сигнала слабо зависит от радиуса элемента считывания или катушки воспроизведения, и сильно зависит от толщины и ширины магнита. Исследования позволяют не только оптимизировать конструктивные и эксплуатационные параметры элементов макета магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений, но и подобрать параметры и свойства элементов конструкции для обеспечения максимальной амплитуды выходного сигнала.

Ключевые слова: математическое моделирование, считывание сигнала, возбуждение волн, сигнал воспроизведения, воспроизведение сигнала

TO THE QUESTION OF MATHEMATICAL MODELLING OF THE SIGNAL OF REPRODUCTION OF MAGNETOSTRICTION CONVERTERS OF LINEAR MOVEMENTS

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

Penza State Technological University, Penza,

e-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

Article is devoted to mathematical simulation of signals of reproduction of magnetostrictive transformers of the linear relocation. Explicitly the question connected to calculation of processes of excitation, broadcasting and reading of ultrasonic waves at the fixed distance and in case of different sizes of elements is considered. Special attention in article is paid to a reproduction signal research in case of different parameter values of permanent magnets of the cylindrical form. Researches of dependences of an output signal from parameters of the coil of reproduction (solenoid) intended for reading of ultrasonic waves of torsion are also made. It was shown that output amplitude poorly depends on the radius of an element of reading or the coil of reproduction, and strongly depends on thickness and width of a magnet. Researches allow not only to optimize design and operational data of elements of a prototype of the magnetostrictive transformer of the linear relocation, but also to pick up parameters and properties of elements of construction for support of the maximum output amplitude.

Keywords: mathematical modeling, reading of a signal, excitement of waves, reproduction signal, reproduction of a signal

К основным элементам магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений на ультразвуковых волнах кручения можно отнести волновод, один или несколько постоянных магнитов и один или несколько элементов считывания, предназначенных для формирования выходного аналогового сигнала. На практике в качестве элементов считывания, как правило, используются индуктивные элементы, реже пьезоэлектрические преобразователи.

От конструктивных и эксплуатационных параметров основных элементов макета будет зависеть не только амплитуда и длительность выходного сигнала, но и точность

измерения, и косвенно надежность разрабатываемого устройства. Для пояснения данного утверждения, а также оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров элементов макета проведем соответствующие исследования и вычислительные эксперименты.

Зная распределение поля соленоида $H_c(z)$, рассчитаем поток Φ через произвольное поперечное сечение волновода, вызванный ток I через обмотку воспроизведения. В соответствии с теоремой взаимности тот же ток I , обтекая поперечное сечение поверхности волновода, возбуждает идентичный поток Φ через обмотку соленоида [1].

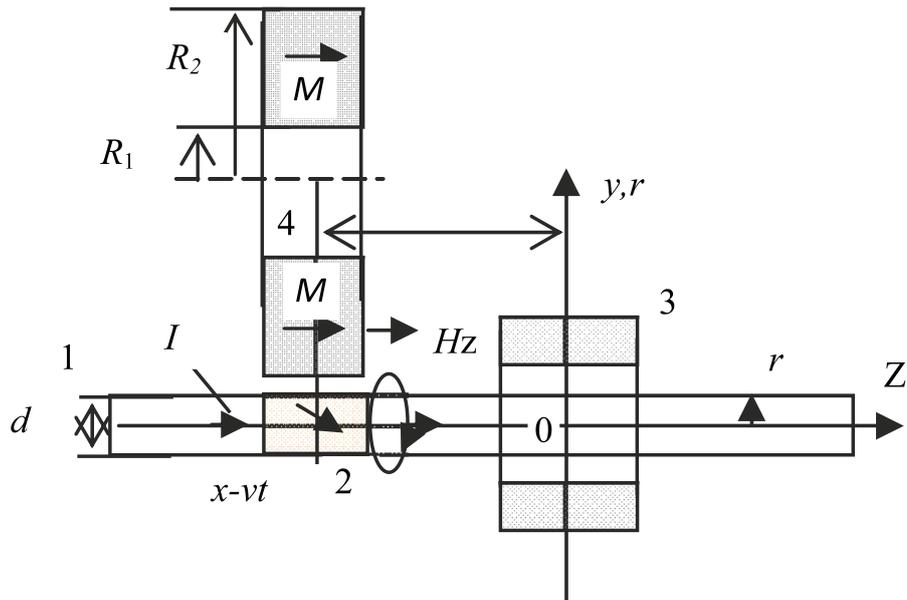


Рис. 1. Модель для анализа процесса воспроизведения крутильного колебания в волноводе: 1 – волновод диаметром d ; 2 – область формирования волны кручения; 3 – катушка воспроизведения (соленоид); 4 – кольцевой магнит с радиусами R_1 и R_2

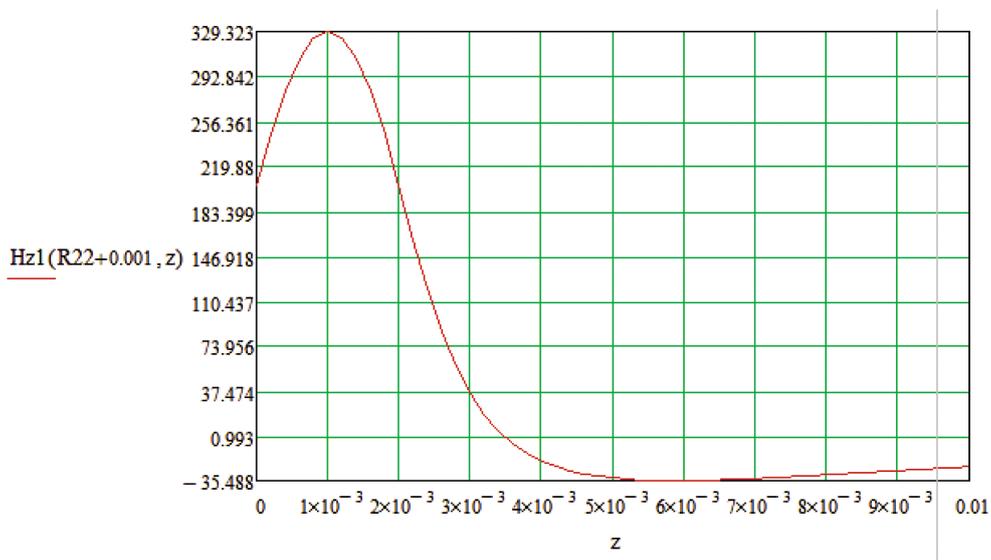


Рис. 2. Распределение магнитного поля постоянного магнита цилиндрической формы толщиной $L=2$ мм, радиусом $R=6$ мм, на расстоянии 1 мм от поверхности волновода

Для исследований выходного сигнала воспользуемся принципом взаимности. На рис. 1 показана катушка воспроизведения (соленоид) 3, воспринимающий информативный параметр – продольную составляющую магнитного поля волны кручения.

Полный поток, пересекающий обмотку соленоида воспроизведения, вызванный намагниченностью M_z получается в этом случае посредством интегрирования бесконечно малых потоков, возникающих из последовательности намагниченностей вдоль волновода, и равен

$$\Phi_z(z_0) = k \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\frac{d}{2}} \mu_0 M_z(z-z_0, r) H_c(z, r) 2\pi r dr dz, \quad (1)$$

где d – диаметр волновода, $z_0=vt$; k – обобщенный коэффициент, включающий магнито-стрикционные коэффициенты.

Сигнал воспроизведения определяется производной от $\Phi_z(z)$

$$u = \frac{d\Phi_z(z_0)}{dt}. \quad (2)$$

Продольную составляющую M_z можно определить зная распределение магнитного поля [7] постоянного магнита и петлю гистерезиса магнитного материала волновода.

Используя выражения, полученные в [1] можно получить распределение магнитного поля от кольцевого магнита, которое приведено на рис. 2.

Используя выражения, полученные в [1] можно получить распределение магнитного поля от соленоида.

$$H_c(z, r) = \frac{j}{2\pi} \int_a^{R_{in}+c} \sum_{v=1}^2 (-1)^v \frac{(z-z'_v)}{\sqrt{(z-z'_v)^2 + (r-r'_v)^2}} \left[K(k_v) + \frac{r-r'}{r+r'} \right] \Pi(h, k_v) dr',$$

где $K(k_v) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{\sqrt{1-(k_v^2)\sin^2\beta}}$ – полный эллиптический интеграл первого рода;

$\Pi(h, k_v) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{(1-h\sin^2(\beta))\sqrt{1-(k_v^2)\sin^2\beta}}$ – полный эллиптический интеграл третьего рода

$h = 4 \cdot r \cdot r' / (r+r')^2$, $k_v = \sqrt{4 \cdot r \cdot r' / ((z-z'_v)^2 + (r+r')^2)}$ – коэффициенты;

R_{in}, c – внутренний радиус и толщина соленоида;

$z'_2 = b$ – расстояние от торца катушки до начала координат (для рисунка 1 $b=0$);

$z'_1 = b + L$;

L – длина соленоида.

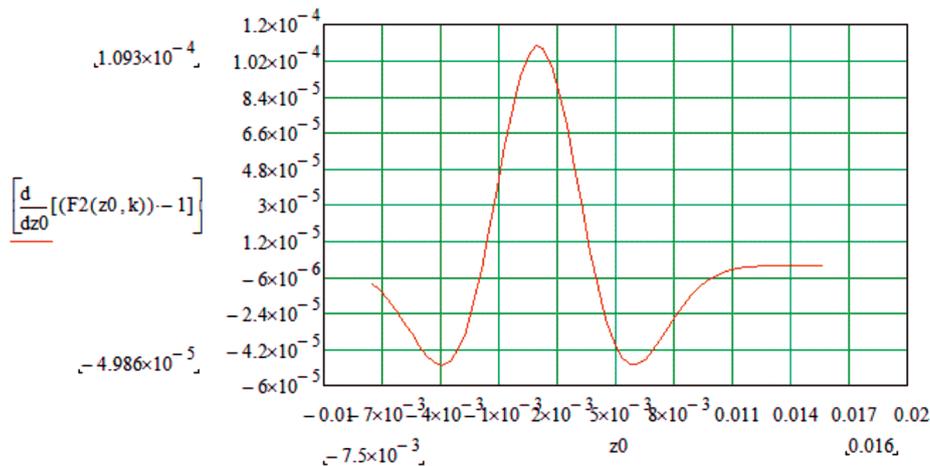


Рис. 3. Сигнал воспроизведения в относительных единицах периода крутильных колебаний. Сигнал получен для катушки воспроизведения $L=5$ мм, магнита толщиной $r=2$ мм

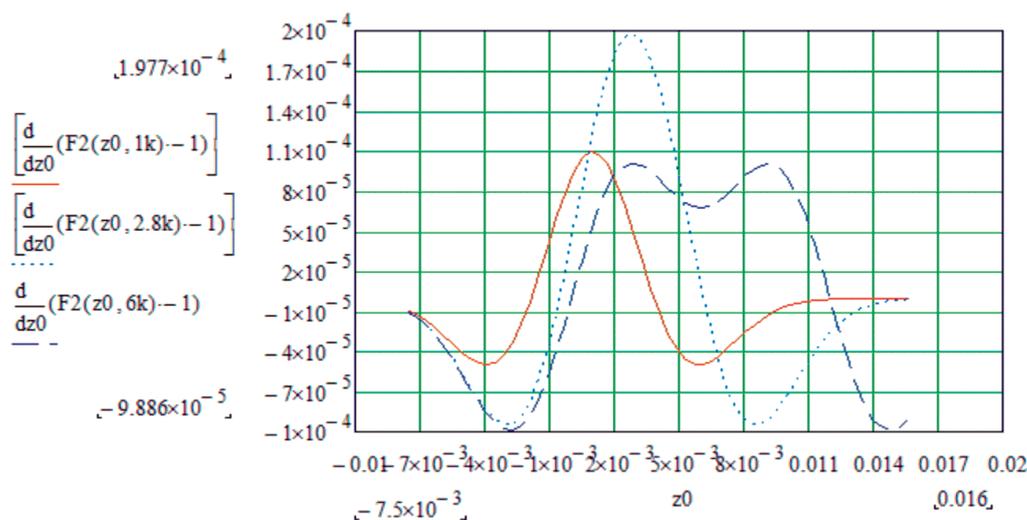


Рис. 4. Зависимость формы сигнала воспроизведения от толщины магнита при фиксированной ширине катушки воспроизведения

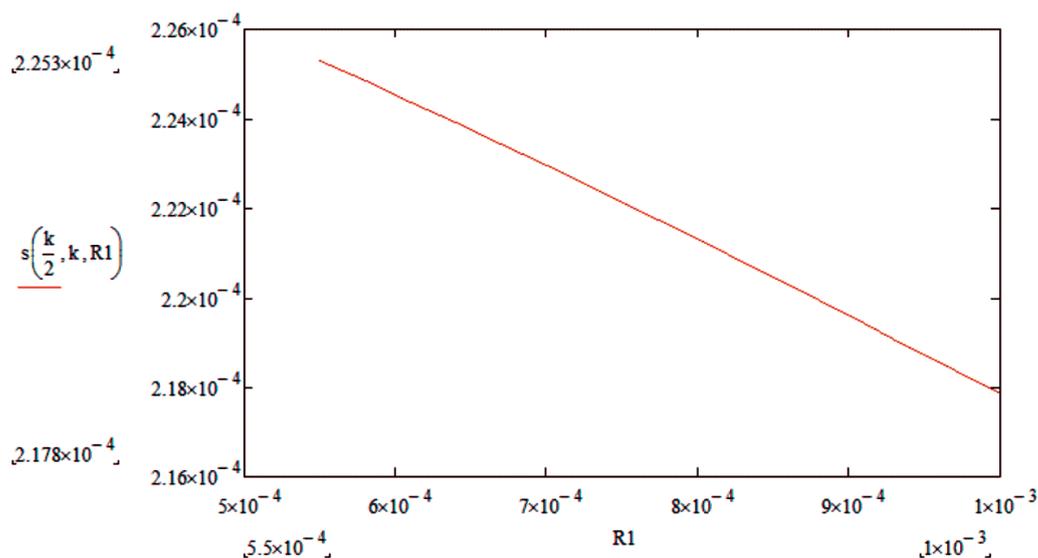


Рис. 5. Зависимость амплитуды сигнала воспроизведения от внутреннего радиуса катушки воспроизведения R_1 при толщине магнита $h=4$ мм и ширине катушки воспроизведения $L=5$ мм

Осевое поле катушки воспроизведения (соленоида) $H_c(z, r)$ в (1) от осевой координаты z в относительных единицах приведено на рис. 4.

Вычисление по формуле (1) дает сигнал воспроизведения от одного периода крутильных колебаний, форма которого приведена на рис. 3.

Используя (1) можно провести анализ влияния толщины магнита на сигнал воспроизведения.

Результат анализа формы сигнала воспроизведения в зависимости от толщины магнита L приведены на рис. 4.

По полученным выражениям была исследована зависимость амплитуды сигнала воспроизведения от внутреннего радиуса катушки воспроизведения и фиксированной её толщине. Результаты анализа приведены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что амплитуда сигнала воспроизведения слабо зависит от радиу-

са катушки воспроизведения. Относительное уменьшение амплитуды сигнала воспроизведения при изменении радиуса R_1 от 0,55 мм до 1 мм составляет всего 3,3%.

Таким образом, в результате вычислительных экспериментов была произведена оценка влияния параметров элементов конструкций акустических трактов магнито-стрикционных преобразователей линейных перемещений. В частности, было показано, что амплитуда выходного сигнала слабо зависит от радиуса элемента считывания или катушки воспроизведения, и сильно зависит от толщины и ширины магнита. Результаты вычислительных эксперимен-

тов позволяют не только оптимизировать конструктивные и эксплуатационные параметры элементов макета магнито-стрикционного преобразователя линейных перемещений, но и подобрать параметры и свойства элементов конструкции для обеспечения максимальной амплитуды выходного сигнала.

Список литературы

1. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнито-стрикционных наклономеров, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда / А.А. Воронцов, Ю.Н. Слесарев, Э.В. Карпунин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19; № 1. – С. 25–29.