И.П. Мащенко, А.И. Мащенко, А.И. Надеев
I.P. Mashenko, A.I. Mashenko, A.I. Nadeev

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА ДЛЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

THE CALCULATION OF MAGNETIC FIELD OF CONSTANT MAGNET FOR MAGNETOSTRICTIVE CONVERTERS OF DISPLACEMENT

г. Астрахань, Астраханский государственный технический университет
Astrakhan, Astrakhan State technical university

В работе находится напряженность магнитного поля в точках цилиндрического волновода намагниченного кольцевым постоянным магнитом заданной постоянной индукцией внутри магнита. В работе трехмерный интеграл с дельта функцией сводится к двумерным интегралам, по которым вычисляется продольная составляющая вдоль волновода напряженности магнитного поля и радиальная составляющая. По результатам расчета приведены и проанализированы графики.

In our work we find magnetic intensity in the points of the cylindric waveguide having been magnetized with the ring permanent magnet which has the given magnetic constant induction within magnet. In this work the three-dimensional integral with Δf (delta-function) is reduced to two-dimensional integrals and the longitudinal component along the waveguide of the tension of magnetic field and radial component is calculated according to then. According to the results of the calculation the charts are given and analysed.

Начиная со второй половины 70-х годов в мировой практике сформировалось научно-техническое направление по разработке нового класса преобразователей — магнитострикционных преобразователей перемещений (МПП), которые и в настоящее время находят широкое применение во многих областях промышленности. Это обусловлено в первую очередь их высокой надежностью, малым энергопотреблением и устойчивостью к вибрационным воздействиям, а также большим диапазоном линейных перемещений.

Исследованиями установлено [1], что конструкции МПП на основе эффекта Видемана являются наиболее простыми и надежными в эксплуатации, и имеют наибольшее распространение в промышленности. Однако, на сегодня практически нерешенной остается задача оптимизации проектирования данного класса преобразователей из-за отсутствия полной аналитической модели, описывающей электромагнитомеханические процессы в МПП на основе эффекта Видемана.

В настоящей работе рассматривается один из главных этапов проектирования – расчет постоянного магнитного поля. Магнитострикционные устройства, основанные на применении эффекта Видемана, предполагают наложение на материал постоянного магнитного поля. Чаще всего его образуют с помощью постоянного магнита. Поле последнего зависит от конфигурации магнита. Мы будем рассматривать кольцевой магнит, находящийся на волноводе (рис.1).

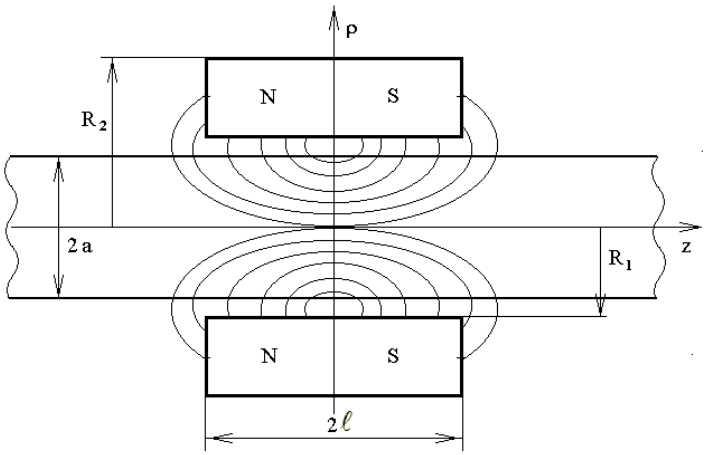

Рис. 1. Распределение магнитного поля в волноводе МПП в зоне действия кругового постоянного магнита.
The distribution of magnetic field in waveguide МПП in the zone of action of circular of constant magnet.

@2002, электронная версия подготовлена ЗАО АВТЭКС Санкт-Петербург, http://www.autex.spb.ru

По результатам работы [2] напряженность кольцевого постоянного магнита внутри звукопровода определяется функциями:

$$H_z(\rho,z)=\frac{1}{4\pi\mu_0}\int_{R_1}^{R_2}\int_0^{2\pi}\int_{-\ell}^{\ell}\frac{(z-z_1)\rho_м}{R^3}\rho_1 d\rho_1 d\theta_1 dz_1,$$

$$H_\rho(\rho,z)=\frac{1}{4\pi\mu_0}\int_{R_1}^{R_2}\int_0^{2\pi}\int_{-\ell}^{\ell}\frac{(\rho-\rho_1\cos\theta_1)\rho_м}{R^3}\rho_1 d\rho_1 d\theta_1 dz_1, \qquad (1)$$

где $R=\sqrt{(z-z_1)^2+\rho^2+\rho_1^2-2\rho\rho_1\cos\theta_1}$; □,□,z_1 - координаты точки внутри магнита;

$$\rho_м = B_0[\delta(z_1+l)-\delta(z_1-l)], \qquad (2)$$

где $\rho_м$ - плотность фиктивных магнитных зарядов; $\delta(x)$ - дельта функция Дирака.

Вычисление тройных интегралов весьма затруднительно.

Используя свойства функции (2), тройные интегралы (1) можно привести к двойным интегралам:

$$H_z(\rho,z)=\frac{B_0}{4\pi\mu_0}\int_{R_1}^{R_2}\int_0^{2\pi}\frac{(z+\ell)\rho_1 d\rho_1 d\theta_1}{\left((z+\ell)^2+\rho^2+\rho_1^2+2\rho\rho_1\cos\theta_1\right)^{\frac{3}{2}}}-$$

$$-\frac{B_0}{4\pi\mu_0}\int_{R_1}^{R_2}\int_0^{2\pi}\frac{(z-\ell)\rho_1 d\rho_1 d\theta_1}{\left((z-\ell)^2+\rho^2+\rho_1^2+2\rho\rho_1\cos\theta_1\right)^{\frac{3}{2}}} \qquad (3)$$

$$H_\rho(\rho,z)=\frac{B_0}{4\pi\mu_0}\int_{R_1}^{R_2}\int_0^{2\pi}\frac{(\rho-\rho_1\cos\theta_1)\rho_1 d\rho_1 d\theta_1}{\left((z+\ell)^2+\rho^2+\rho_1^2+2\rho\rho_1\cos\theta_1\right)^{\frac{3}{2}}}-$$

$$-\frac{B_0}{4\pi\mu_0}\int_{R_1}^{R_2}\int_0^{2\pi}\frac{(\rho-\rho_1\cos\theta_1)\rho_1 d\rho_1 d\theta_1}{\left((z-\ell)^2+\rho^2+\rho_1^2+2\rho\rho_1\cos\theta_1\right)^{\frac{3}{2}}} \qquad (4)$$

В интегралах (3) - (4) уже расставлены пределы интегрирования. Их значения можно получить с помощью двойных квадратур.

Составлена программа вычисления магнитного поля по формулам (3) и (4). Произведен расчет и построены графики изменения напряженности магнитного поля вдоль волновода. Исходными данными являются следующие значения:

1) длина магнита $\ell = 0.004$ м;
2) радиус волновода $a = 0.0025$ м;
3) внутренний радиус магнита $R_1 = 0.0026$ м;
4) внешний радиус магнита $R_1 = 0.03$ м;
5) магнитная индукция внутри магнита $B_0 = 10^{-6}$ Тл.

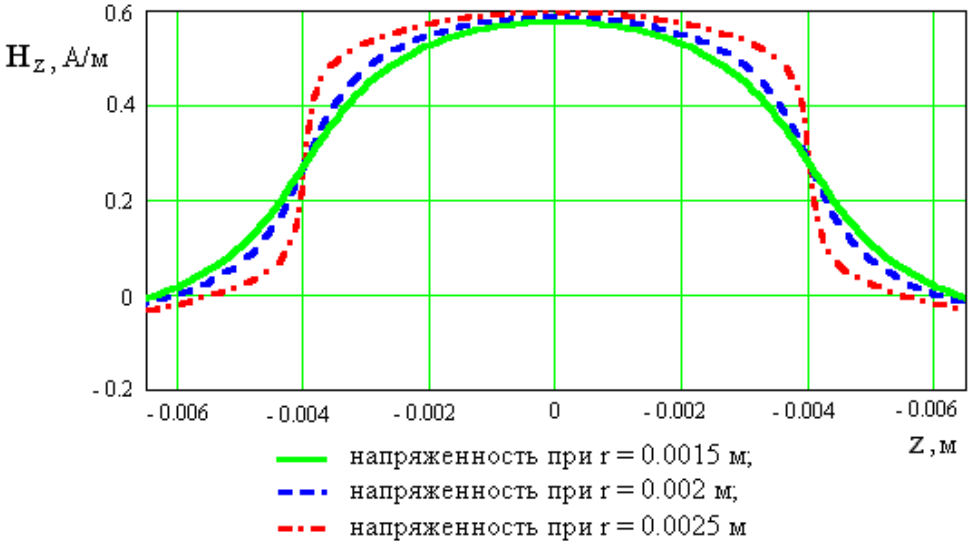

Рис. 2. Продольная составляющая напряженности магнитного поля.
The longitudal component of the tension of magnetic field.

На рис.2. представлен график изменения напряженности магнитного поля в точках цилиндра с радиусами 0.0015 м, 0.002 м, 0.0025 м вдоль оси OZ . Мы видим, что график функции имеет колокообразную форму, причем при приближении к поверхности волновода возрастает. Так как длина магнита $\ell = 0.004$, то магнитное поле выходит за пределы магнита в одну и другую сторону, причем это влияние не распространяется больше, чем на 25% длины магнита.

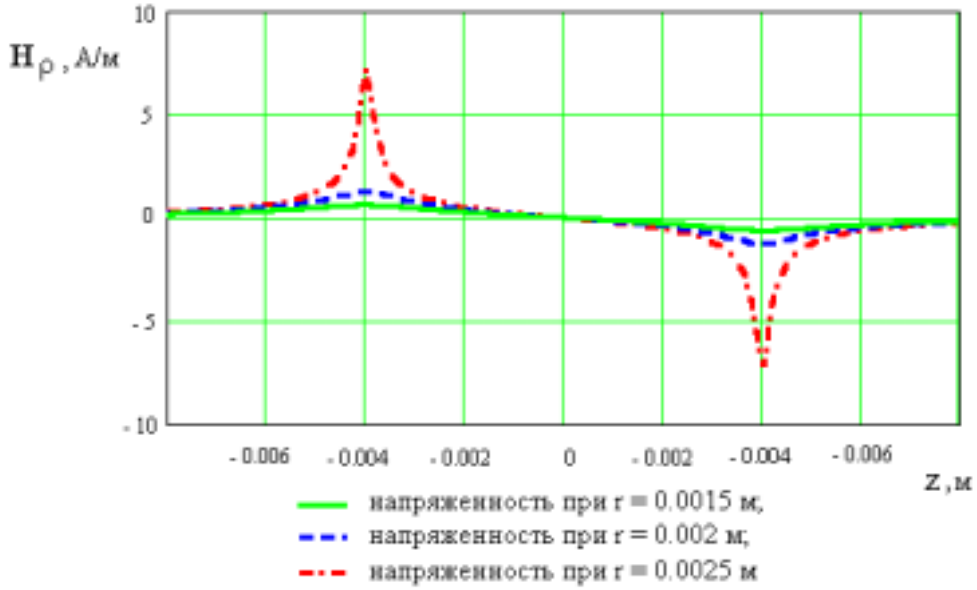

Рис.3. Радиальная составляющая напряженности магнитного поля.
The radial constituted of the tension of magnetic field.

На рис.3 представлен график изменения радиальной составляющей для точек тех же цилиндров. Следует отметить, что по оси волновода $\rho = 0$ поле отсутствует и увеличивается его напряженность по мере приблежения к поверхности волновода. На поверхности волновода по торцам магнита наблюдается резкое возрастание напряженности магнитного поля и затем на расстоянии снова 25% длины магнита затухает до нуля. Внутри магнита напряженность медленно изменяясь переходит от северной стороны магнита к южной. Для магнитострикции наиболее важный участок изображен на рис.2 от -0.004 до 0.004 м.

Литература

1. Надеев А. И. Магнитострикционные интеллектуальные преобразователи параметров движения. Монография / Астрахан. гос. техн. ун-т. - Астрахань, АГТУ, 1999. - 155 с.– деп. в ВИНИТИ 22.07.99 № 2385-В99.

2. Петрищев О. Н., Шпинь А. П. Ультразвуковые магнитострикционные волновые системы. - Киев: Изд-во Киев. университета, 1989. - 132 с.