

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА КУРСА ФИЗИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ СООСНЫХ КРУГОВЫХ ТОКОВ ОДИНАКОВОГО ДИАМЕТРА

Н. А. АХРАМЕНКО, М. В. БУЙ, А. П. ПАВЛЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта г. Гомель

При функционировании многих электрических приборов и механизмов большую роль могут иметь всевозможные возникающие механические напряжения вследствие различного силового взаимодействия между токопроводящими элементами, расчет которого может быть сведен к суперпозиции взаимодействий базовых простейших элементов. В данной работе проводится анализ сил, характерных для двух круговых витков.

Круговые витки с током являются элементом разнообразных электрических приборов, используемых в транспортной сфере, в частности, трансформаторов и соленоидов. Рассмотрение силового взаимодействия двух витков с током может быть использовано при определении возникающих механических напряжений в системе из большого количества витков, например, соленоид.

Рассмотрим два соосных витка одного радиуса (рисунок 1).

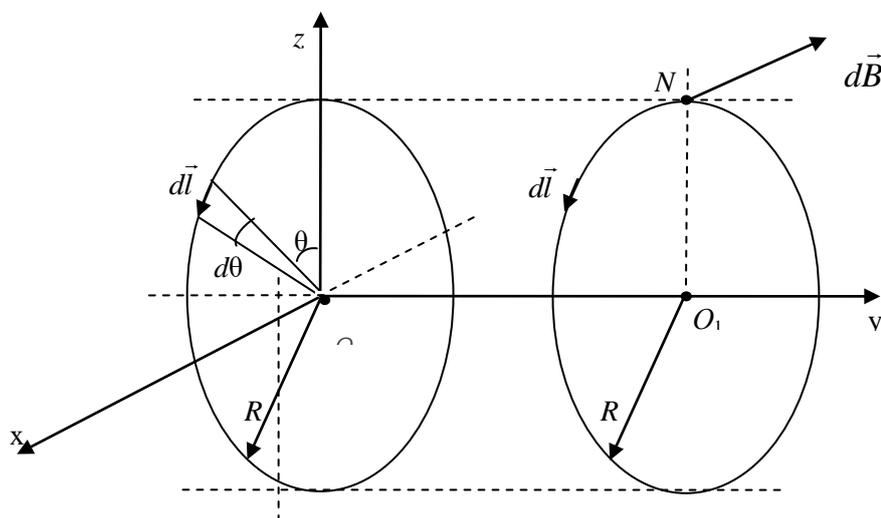


Рисунок 1

Элемент тока $I d\vec{l}$ создает в точке N (рисунок 1) индукцию магнитного поля $d\vec{B}$. Если токи в обоих кольцах одного направления, то кольца притягиваются. На силу, притягивающую правое кольцо к левому, будет влиять только компонента вектора $d\vec{B}_z$.

Для определения компоненты $d\vec{B}_z$ вектора $d\vec{B}$ индукции магнитного поля кругового тока в точке N (рисунок 1), воспользуемся законом Био – Савара – Лапласа и принципом суперпозиции магнитных полей [1–4]. Магнитная индукция, создаваемая элементом тока,

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^3} [d\vec{l} \times \vec{r}],$$

где μ_0 – магнитная постоянная; I – величина силы тока; вектор \vec{r} направлен от элемента тока к точке N .

Компонента вектора $d\vec{B}$ вдоль оси OZ

$$d\vec{B}_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^3} (dl_x r_y - dl_y r_x) \vec{k},$$

где dl_x , r_x , dl_y , и r_y – проекции векторов $d\vec{l}$ и \vec{r} на оси OX , OY ; \vec{k} – единичный вектор вдоль оси OZ .

Проекции вектора \vec{dl} на оси координат OX , OY записываются в следующем виде: $dl_x = dl \cos \theta$ и $dl_y = 0$. Проекция вектора \vec{r} на оси координат OX , OY представляются в следующем виде: $r_x = -R \sin \theta$ и $r_y = y$.

Тогда для dB_z получим

$$dB_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^3} y dl \cos \theta.$$

Учитывая, что $r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} = \sqrt{2R^2 + y^2 - 2R^2 \cos \theta}$ и $dl = R d\theta$, получим

$$dB_z = \frac{\mu_0 I y R}{4\pi (2R^2 + y^2 - 2R^2 \cos \theta)^{3/2}} \cos \theta d\theta.$$

Проинтегрировав по всей длине витка, получим

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{y R \cos \theta d\theta}{(2R^2 + y^2 - 2R^2 \cos \theta)^{3/2}}.$$

Зная индукцию магнитного поля левого витка в точке N , можно определить силу, действующую на правый виток согласно закону Ампера:

$$F = \frac{\mu_0 I_1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{y R^2 \cos \theta d\theta}{(2R^2 + y^2 - 2R^2 \cos \theta)^{3/2}},$$

где I_1 – сила тока в правом витке, длина витка принята равной $2\pi R$.

Введем параметр $k = y/R$ и перепишем уравнение для силы:

$$F = \frac{\mu_0 I_1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{k \cos \theta d\theta}{(2 + k^2 - 2 \cos \theta)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I_1}{2} J(k),$$

где интеграл

$$J(k) = \int_0^{2\pi} \frac{k \cos \theta d\theta}{(2 + k^2 - 2 \cos \theta)^{3/2}}.$$

Некоторые значения интеграла $J(k)$ в зависимости от параметра k представлены в таблице 1.

Таблица 1

k	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$J(k)$	9,5739	4,3637	2,5735	1,67257	1,14331

Окончание таблицы 1

k	1,2	1,4	1,6	1,8	2
$J(k)$	0,806795	0,582642	0,428674	0,320495	0,243091

Таким образом, получен инженерный алгоритм расчета рассмотренного взаимодействия, сводящийся к переходу к безразмерному параметру и использования заранее затабулированной численными методами универсальной функции, что позволяет значительно упростить практические исследования.

Список литературы

- 1 **Матвеев, А. Н.** Электричество и магнетизм / А. Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1983. – 463 с.
- 2 **Савельев, И. В.** Курс общей физики : в 3 т. Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1988. – 480 с.
- 3 **Трофимова, Т. И.** Курс физики / Т. И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 1990. – 478 с.
- 4 **Шиляева, К. П.** Физика. Краткая теория и задачи : пособие / К. П. Шиляева, И. О. Деликатная, Н. А. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 211 с.