

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ИНДУЦИРОВАННОГО ВИТКОМ С ТОКОМ В ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Литвинов В.В. Бобин Д.Г.

Проведение экспериментов на космических аппаратах требует идеальных условий. Их стараются создать всевозможными способами.

Микро ускорения, возникающие при торможении космического аппарата в разреженных слоях атмосферы или при столкновении с микрочастицами, нарушают идеальные условия. Для устранения микроускорений предлагается установить на космическом аппарате токопроводы. Подача тока на токопроводы приводит к изменению магнитного момента кольца с током, и, вследствие этого, изменяется механический момент космического аппарата.

В первой части задачи решается вопрос определения электромагнитной картины вокруг космического аппарата.

Поле круглого витка радиуса R найдем, определив векторный потенциал в точке M вертикальной плоскости zOx_1 (рис 1).

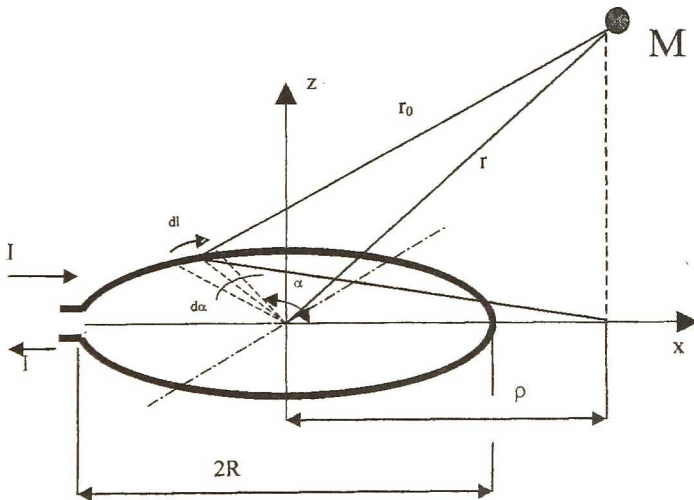


Рисунок 1

Предполагая, что расстояние от точки, в которой определяется поле, до проводника велико по сравнению с линейными размерами поперечного сечения последнего. Векторный потенциал определяется выражением:

$$\mathbf{A} = \mathbf{e}_\alpha \cdot \mathbf{A}_\alpha = \mathbf{e}_\alpha \cdot \frac{\mu_a \cdot I}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi} \frac{R \cdot \cos(\alpha) \cdot d\alpha}{r_0} \quad (1)$$

Векторный потенциал витка с током имеет только азимутальную составляющую \mathbf{A}_α .

Подставляя в выражение магнитного потенциала,

$$r_0 = [z^2 + R^2 + \rho^2 - 2 \cdot \rho \cdot R \cdot \cos(\alpha)]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

получаем:

$$\mathbf{A}_\alpha = \frac{\mu_a \cdot I}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^\pi \frac{R \cdot \cos(\alpha) \cdot d\alpha}{[z^2 + R^2 + \rho^2 - 2 \cdot \rho \cdot R \cdot \cos(\alpha)]} \quad (3)$$

или

$$\mathbf{A}_\alpha = \frac{\mu_a \cdot I}{4 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{R}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\left(1 - \frac{k^2}{2}\right) \cdot K - N\right] \quad (4)$$

Здесь K и N – полные эллиптические интегралы первого и второго рода; они определяются формулами:

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{(1 - k^2 \cdot \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

$$N = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - k^2 \cdot \sin^2(\theta))^{\frac{1}{2}} d\theta \quad (6)$$

в которых

$$\theta = \frac{(\pi - \alpha)}{2} \quad (7)$$

$$k^2 = \frac{4 \cdot \rho \cdot R}{[(R + \rho)^2 + z^2]} \quad (8)$$

Используя выражение

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_a} \cdot \text{rot} \mathbf{A} \quad (9)$$

находим составляющие магнитного поля витка:

$$\left. \begin{aligned}
 H_z &= 0 \\
 H_\rho &= \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot \rho} \cdot \frac{z}{\left[(R + \rho)^2 + z^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \cdot \left[-K + \frac{R^2 + \rho^2 + z^2}{(R - \rho)^2 + z^2} \cdot N \right] \\
 H_z &= \frac{I}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\left[(R + \rho)^2 + z^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \cdot \left[K + \frac{R^2 - \rho^2 - z^2}{(R - \rho)^2 + z^2} \cdot N \right]
 \end{aligned} \right\} (10)$$

При расположении токопровода на металлической поверхности, составляющая по оси z магнитного поля имеют вид:

$$H_z = \frac{I}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot R \left(1 + \frac{z}{R} \right)} \cdot \left[- \left(1 + \frac{z}{R} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot N + \left(\sqrt{1 + \frac{z}{R}} \right) \cdot K \right] \cdot \sec(z/R) \quad (11)$$

Магнитный момент витка с током имеет вид:

$$\mathbf{P} = I \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{n} \quad (12)$$

$$P = I \cdot 2 \cdot \pi \cdot R$$

Механический момент вычисляется по формуле:

$$\mathbf{M} = [\mathbf{P}, \mathbf{B}] \quad (13)$$

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H} \quad (14)$$

Коррекция магнитного момента производится в соответствии с информацией получаемой с датчиков. В результате, получены формулы, позволяющие определить составляющие магнитного поля в любой точке пространства.

Во второй задаче рассматривается система из токопровода, космического аппарата и ферромагнитного кольца, располагаемого под токопроводом. Необходимо определить, насколько можно уменьшить ток, подаваемый на виток, чтобы при данном уменьшении тока магнитный момент витка на ферромагнитной полосе соответственно был бы равен магнитному моменту токопровода без ферромагнитной подкладки,

Список использованных источников

1. Кугушев А.М. Голубева Н.С. Основы радиоэлектроники, М.: Энергия 1969.
2. Тамм И.Е. Теория электричества. М.: Наука. 1976.