

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТОКОВ МАГНИТОМЕТРАМИ

Крючков Е.И.

Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев, Украина

В космосе для измерения пространственных токов используются датчики с гораздо меньшей площадью измерения, чем поверхность протекания измеряемого тока. В статье предложен метод измерения суммарного тока, протекающего через довольно поверхность, ограниченную размерами выдвижных конструкций спутника. Метод основан на использовании определенным образом расположенных в пространстве однокомпонентных датчиков. При этом пропорционально величине поверхности измерения увеличивается чувствительность, и в зависимости от типа применяемых датчиков можно реализовать требуемый рабочий диапазон частот. Рассмотрена методика измерений и оценена чувствительность предложенного прибора.

Для измерений токов в космосе используются приборы: "пояс Роговского", "чашки Фарадея", элементы волнового зонда [1]. Эти приборы отличаются конструкцией и параметрами, но у них у всех относительно малая площадь поверхности измерения плотности тока \mathbf{J} . К примеру, у одного из вариантов пояса Роговского внутренний диаметр круговой антенны составляет 27 см.

Предлагается реализовать пространственно распределенный измеритель \mathbf{J} , состоящий из нескольких согласованно расположенных в пространстве датчиков магнитометров. В таком способе несложно изменять размеры и конфигурацию поверхности измерения, при этом возможно также измерение компонентов магнитного поля. С увеличением радиуса поверхности пропорционально увеличивается чувствительность. В случае использования индукционных магнитометров увеличивается верхняя граница рабочего диапазона частот (до 200 кГц), при использовании феррозондовых магнитометров — уменьшается нижняя (вплоть до измерения постоянных токов).

Возможный пример конструкции такого измерителя на базе четырех магнитометров показан на рисунке. Однокомпонентные датчики 1-4 включены согласованно, с внешней стороны каждого датчика должен располагаться магнитозащитный экран для исключения влияния полей от источников, находящихся за пределами внутренней окружности.

Напряженность поля \mathbf{H} в области расположения магнитометров можно определить из закона полного тока \mathbf{I}_z через поверхность площадью \mathbf{S} :

$$\oint \mathbf{H} d\mathbf{l} = \mathbf{I}_z = \mathbf{J}_z \cdot \mathbf{S}.$$

Таким образом, датчики измеряют индукцию \mathbf{B} , зависящую от \mathbf{J}_z через поверхность с эффективным радиусом $\mathbf{R}_{эф}$:

$$\mathbf{B} \approx \mu_0 \cdot \mathbf{J}_z \cdot \mathbf{R}_{эф} / 2. \quad (1)$$

Компонент \mathbf{J}_z определяется по синфазным составляющим выходных сигналов всех четырех магнитометров. При характерных значениях чувствительности магнито-

метров $10^{-12} \div 10^{-14}$ Тл/Гц $^{1/2}$ чувствительность такого измерителя при $R_{эф} \approx 1$ м составит $10^{-10} \div 10^{-12}$ А/см 2 Гц $^{1/2}$, что соответствует уровню точности современных измерителей J .

При соответствующей конструкции магнитных экранов возможно определение компонентов внешнего магнитного поля. Компонент V_y определяется по противофазным составляющим выходных сигналов 1-го и 2-го магнитометров, а компонент V_x — по противофазным сигналам 3-го и 4-го магнитометров. Компонент V_z не измеряется, поскольку оси чувствительности датчиков лежат в плоскости XY. Вклад в величины V_y и V_x могут вносить компоненты J_y , J_x и токи за пределами поверхности измерения S . Так что данная конструкция достоверно определяет только J_z .

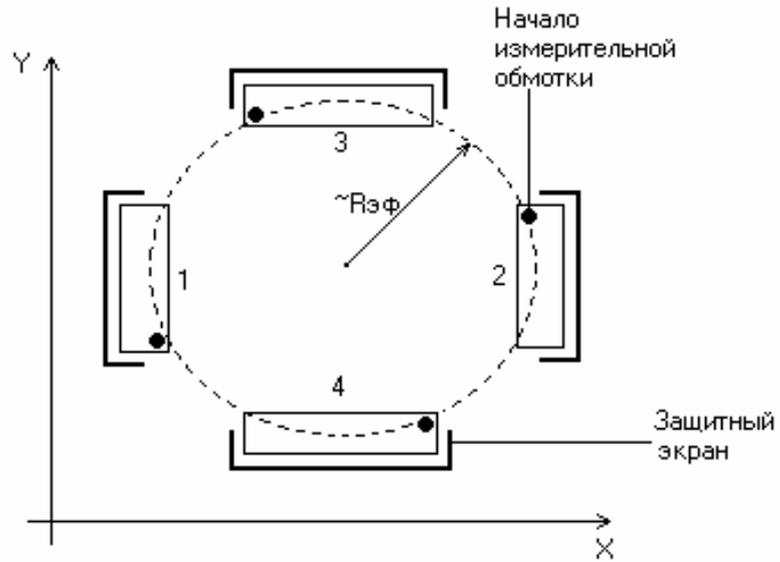
В случае отсутствия экранов при измерении J_z , протекающего через поверхность, превосходящую S , из-за взаимной компенсации магнитных полей от токов по обе стороны от датчиков на выходах магнитометров 1-4 будет примерно нулевой сигнал. Наличие внешних магнитных экранов является необходимым условием работоспособности измерителя J_z такого типа.

В реальной конструкции степень защиты экранов от внешних источников можно определить при соответствующей калибровке измерителя, и тогда в формуле (1) будет стоять экспериментально найденный поправочный множитель γ :

$$V = \gamma \cdot \mu_0 \cdot J_z \cdot R_{эф}$$

Данный распределенный прибор, измеряющий средний ток J_z через поверхность S , может применяться для измерения ионосферных токов в полярных шапках, магнитосферных кольцевых токов в радиационных поясах и др., где поверхность протекания измеряемого тока достаточно большая.

1. Корепанов В. Е. и др. Космический научный эксперимент "Вариант" на борту ИСЗ "Січ-1М" // Сборник трудов первой украинской конференции по перспективным космическим исследованиям, Киев, 8-11 октября 2001, с. 51-58.



Конструкция измерителя пространственного тока на основе четырех однокомпонентных магнитометров