

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Васильева О.В., Исаев Ю.Н., Сивков А.А.

Научный руководитель: Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vasileva.o.v@mail.ru

Целью работы является построение и исследование математической модели коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) и исследование физических явлений в ускорителе методами вычислительного эксперимента. Исследование осуществляется на примере модельного КМПУ, соответствующего реально используемого на практике устройства [1].

На рис. 1 представлена упрощенная модель КМПУ. Для описания процессов происходящих в КМПУ представим его как электромеханическое устройство, считая, что масса и сопротивление плазмы постоянны.

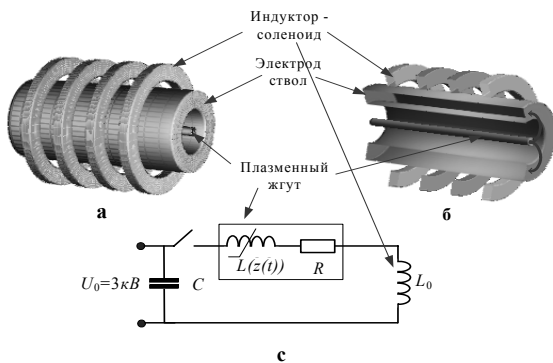


Рис. 1. а – упрощенная модель проводящей части плазменного ускорителя; б – его сечение; в – электротехническая схема замещения КМПУ

На том же рисунке приводится электротехническая схема замещения, в которой C – емкость батареи конденсаторов, $L(z(t))$ – индуктивность плазменного шнура, R – сопротивление плазменного сгустка, L_0 – индуктивность индуктора.

Для математического описания рассматриваемого устройства, необходимо иметь величины параметров L_0 , R , $L(t)$, C электромеханической модели. Приведем их описание.

В электротехнической схеме батареи конденсаторов емкостью $C = 30 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$ заряжается до напряжения $U_0 = 3 \text{ кВ}$. Энергия электростатического поля, запасенная в конденсаторе, передается в электрическую цепь. Сопротивление цепи будем считать равным $R = 10^{-3} \text{ Ом}$. Далее необходимо рассчитать два следующих параметра L_0 и $L(t)$.

Индуктивность коаксиальной системы жгут-электрод $L(t)$ определяем из энергетического соотношения $W = I^2 L / 2$.

Запишем энергию системы:

$$W(z) = \mu \int \frac{H_{\text{пл}}^2}{2} dV = \frac{I^2 \mu 2\pi}{2(2\pi)^2} \int_0^z dz \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{z \mu I^2}{4\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1)$$

здесь $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость воздуха, R_2, R_1 – радиусы электрода ствола и плазменного жгута соответственно, z – координата распространения жгута.

Из последнего соотношения (1) следует, что индуктивность можно записать в виде линейной функции координаты распространения:

$$L(z) = \frac{z \mu I^2}{4\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = L' z \quad (2)$$

Постоянный коэффициент L' при координате z называется погонной индуктивностью (индуктивность единицы длины) [2]. После подстановки необходимых величин получаем его значение (3):

$$L' = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3)$$

Поставив необходимые значения, получаем величину погонной индуктивности $L' = 10 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

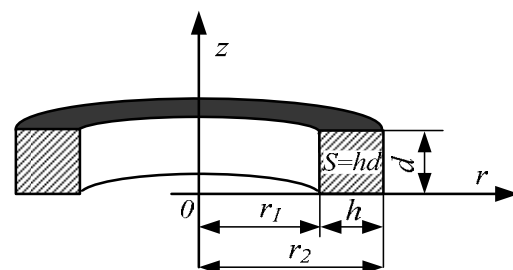


Рис. 2. Сечение проводника в виде кольца

Индуктор имеет сложную конфигурацию электродов, поэтому расчет индуктивности индуктора также проведен через известное энергетическое соотношение в соответствии с которым:

$$W_M = \frac{I^2 L_0}{2} \rightarrow L_0 = \frac{2W_M}{I^2} \quad (4)$$

Здесь I – ток в цепи, W_M – энергия магнитного поля, L – индуктивность. В свою очередь энергия магнитного поля (4) при заданной конфигурации электродов и заданного распределения

токов можно определить, используя последовательность соотношений [1]:

$$W_M = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{A} \delta dV \rightarrow L_0 = \frac{2W_M}{I^2} = \frac{1}{I^2} \int_V \mathbf{A} \delta dV, \quad (5)$$

где $\mathbf{A}$ – векторный магнитный потенциал, δ – вектор плотности тока.

После несложных преобразований из (5) получим выражение для индуктивности одного кольца с прямоугольным сечением, с учетом того, что интегрирование производится только по объему проводника [3] и, что ток в кольце равен $I = 1$ А, (параметры кольца приведены на рис. 2):

$$L = \frac{2\pi}{S^2} \int_{r_1}^{r_2} \int_0^d A(z, \rho) \rho d\rho dz \quad (6)$$

При наличии четырех колец в индукторе в соответствии с рисунком 3 и (6) имеем [4]:

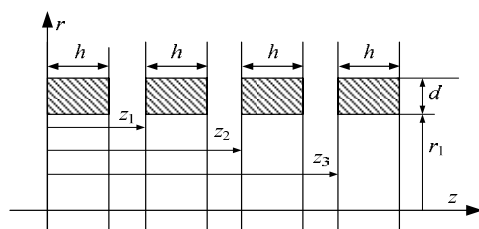


Рис. 3. Индуктор с четырьмя кольцами

$$L = \frac{2\pi}{S^2} \int_{r_1}^{r_2} \rho d\rho \left(\int_0^h dz A(z, \rho) + \int_{z_1}^{z_1+h} dz A(z, \rho) + \right. \\ \left. + \frac{2\pi}{S^2} \int_{r_1}^{r_2} \rho d\rho \left(\int_{z_2}^{z_2+h} dz A(z, \rho) + \int_{z_3}^{z_3+h} dz A(z, \rho) \right) \right) \quad (7)$$

В результате расчетов получена индуктивность индуктора $L_0 = 8.764 \cdot 10^{-7}$ Гн.

Таким образом, представлен промежуточный этап работы для разработки математической модели коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

Список литературы

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика Т. 1: Механика. – Наука, 1992. – 664 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика Т. 8: Электродинамика сплошных сред. – Наука, 1992. – 664 с.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика Т. 2: Теория поля. – Наука, 1992. – 664 с.
4. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений – М.: Наука, 1966. – 686 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА

Горлач С.Ю.

Научный руководитель: Ушаков В.Я., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: gosvetik87@sibmail.com

В настоящее время во многих статьях и выступлениях затрагиваются вопросы энергосбережения и экологии, практически, не касаясь вопросов взаимосвязи систем экологического и энергетического менеджмента, экологических аудитов и энергетических обследований и процессов нормирования энергетических потерь на промышленных и энергетических объектах. Однако, интеграция этих направлений становится и необходимостью и возможностью в процессе повышения эффективности энергетической политики государства [1].

Энергетическое обследование является первым и важнейшим этапом в разработке и реализации комплекса мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Основными целями энергетического обследования являются:

- 1) получение объективных данных об объеме используемых энергоресурсов;
- 2) определение показателей энергоэффективности;

3) определение потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности;

4) разработка перечня мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности и оценка их стоимости.

Правильно организованное энергетическое обследование из мероприятия по оценке эффективности использования энергоресурсов и энергии и проверки состояния энергосбережения превращается в элемент системы, призванной обеспечить стабильность функционирования предприятия/организации за счет повышения надежности и поддержания ресурсов на необходимом уровне, а также укрепления и расширения рыночных позиций. Для этого необходимо, чтобы энергетические обследования проводились на основе комплексного анализа. Объектами исследования при этом являются не только технико-экономические показатели предприятий/организаций, но и инвестиционная, сбытовая и другие виды деятельности.