

Е.И. БАЙДА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗГОНА
МАКРООБЪЕКТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

В статье анализируются теоретические возможности по разгону макрообъектов с помощью электромагнитного поля за счет подключения устройства к источнику постоянного напряжения или накопительному конденсатору.

Ключевые слова: рельсотронный ускоритель, электромагнитное поле, постоянное напряжение, накопительный конденсатор.

У статті аналізуються теоретичні можливості по розгону макрооб'єктів за допомогою електромагнітного поля за рахунок підключення пристрою до джерела постійної напруги або накопичувального конденсатора.

Ключові слова: рельсотронний прискорювач, електромагнітне поле, постійна напруга, накопичувальний конденсатор.

The paper analyzes the theoretical possibilities for acceleration macro object electromagnetic field by connecting the device to a DC voltage or a accumulative capacitor.

Key words: rail gun accelerator, electromagnetic field, a constant voltage, the accumulative capacitor.

Введение. Идея использовать электромагнитные силы для разгона макрообъектов не нова, но в последние годы она получила новый мощный импульс в своем развитии. Кратко основные виды разгонных электромагнитных устройств, их принцип действия, достоинства и недостатки описаны в [1]. В данной статье проведен теоретический анализ наиболее перспективного разгонного устройства – рельсотронного ускорителя. Сложности создания такого ускорителя заключаются в необходимости обеспечения сверхбыстрого нарастания импульса тока в системе, обеспечивающего разгон ускоряемого устройства до его деформации или испарения. Как правило, направляющие рельсы выполняются из электротехнической меди с серебряным покрытием, а ускоряемый объект изготавливается из алюминия. Актуальность данной тематики подтверждают многочисленные исследования в лабораториях США (рис. 1) и других стран. Причем, как показывают исследования, в качестве ускоряемого объекта может выступать и плазма, которая либо "толкает" ускоряемый объект, либо сама является ускоряемым объектом.

© Е.И. Байда, 2012



Рис. 1 – Рельсотрон компании General Atomics. Фото с сайта ga.com.

Цель и задачи исследования. Цель статьи – проверка математической модели расчета и теоретический анализ возможностей разгонного устройства.

Задачи: провести расчет скорости разгона объекта при подключении электрической цепи к источнику постоянного напряжения и накопительному конденсатору.

Постановка и метод решения задачи.

Расчетные уравнения [2]:

$$\begin{aligned}
 -\nabla \cdot (\sigma \cdot \nabla \cdot U) &= 0; \\
 \sigma \cdot \frac{d\vec{A}}{dt} + \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0} \cdot \nabla \times \vec{A} \right) &= -\sigma \cdot \nabla \cdot U; \\
 m \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C_x \cdot \frac{\rho \cdot S}{2} \cdot \frac{dx(t)}{dt} &= F_l,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где σ – проводимость; \vec{A} – векторный магнитный потенциал; U – напряжение источника; m – масса разгоняемого объекта; $x(t)$ – путь разгоняемого объекта; C_x – коэффициент лобового сопротивления; ρ – плотность воздуха; S – поперечное сечение разгоняемого тела; F_l – сила Лоренца.

В случае подключения к системе накопительной емкости, напряжение определяется как:

$$U = U_{c0} - \frac{1}{C} \cdot \int_t \left(\iint_S \vec{j}(t) \cdot d\vec{S} \right) \cdot dt,
 \tag{2}$$

где U_{c0} – начальное напряжение на емкости; C – емкость конденсатора; S – сечение; $\vec{j}(t)$ – полная плотность тока.

Допущения, принятые в расчете: силы трения и проходное контактное сопротивление снаряд – рельс не учитываются; проводимость материалов и плотность воздуха постоянна; коэффициент лобового сопротивления не зависит от скорости движения объекта и плотности воздуха.

В уравнениях (1) полная производная означает, что для ускоряемого объекта необходимо учитывать изменение электрического поля в зависимости от скорости движения:

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \cdot \vec{A}, \quad (3)$$

где \vec{v} – скорость движения объекта.

В качестве базового варианта, был принят расчет, приведенный в [3]. Движение снаряда задавалось экспоненциальной функцией. Результаты расчета для направляющих из меди и снаряда массой 0,17 кг из алюминия, приведены ниже. Конечный путь снаряда составлял 0,35 м, что обусловлено временем расчета и наглядностью вывода графиков.

1. *Включение на постоянное напряжение.* Расчеты проводились при постоянном напряжении 300 В. На рис. 2 показано значение скорости системы.

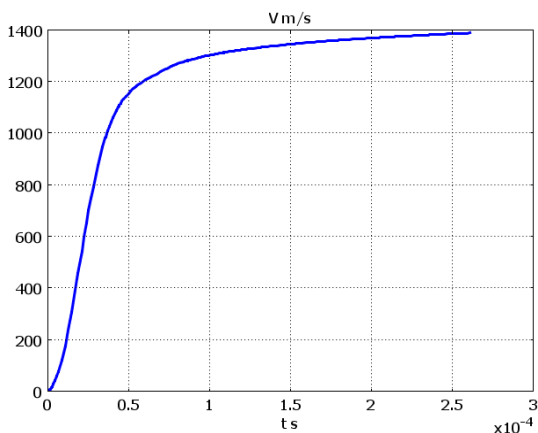


Рис. 2 – Временная зависимость скорости системы.

На рис. 3 и рис. 4 показано значения тока и силы Лоренца, которые представляют значительный интерес при расчете устройств такого рода.

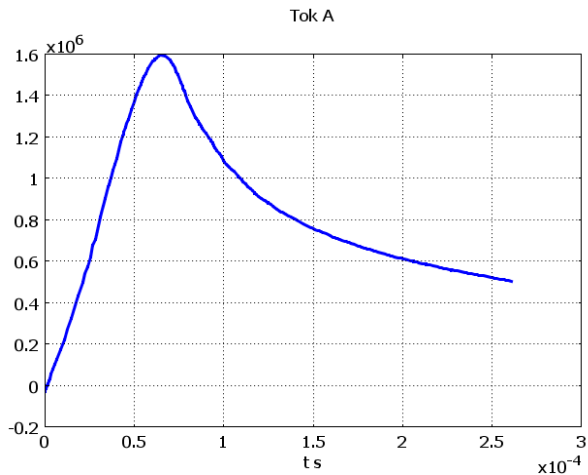


Рис. 3 – Ток системы.

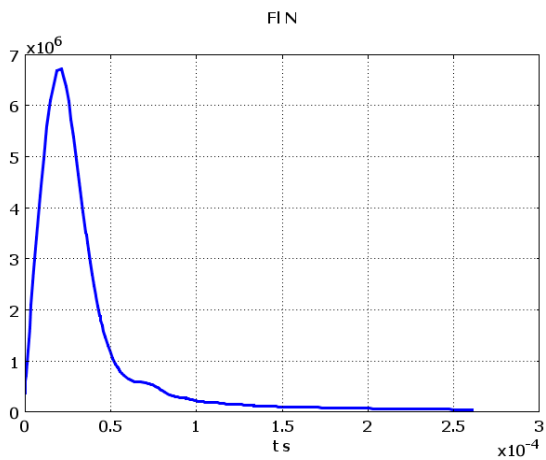


Рис. 4 – Значение силы Лоренца.

Как следует из расчетов, скорости, ток и силы в системе достаточно велики.

2. *Включение системы на накопительный конденсатор.* Напряжение на конденсаторе принималось равным 1000 В.

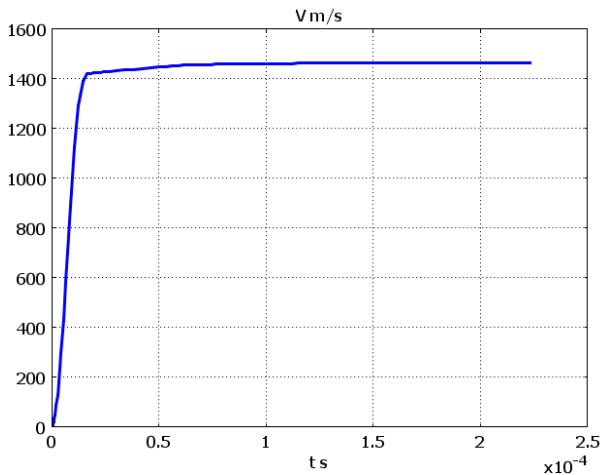


Рис. 5 – Значение скорости.

На рис. 6 и рис. 7 показаны графики значений тока и силы Лорнца.

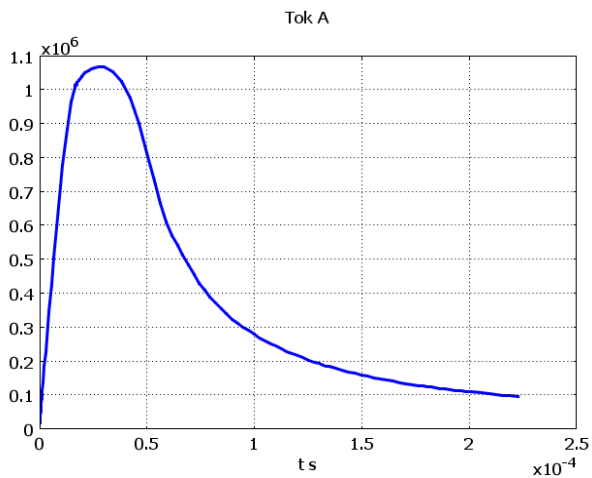


Рис. 6 – Ток системы.

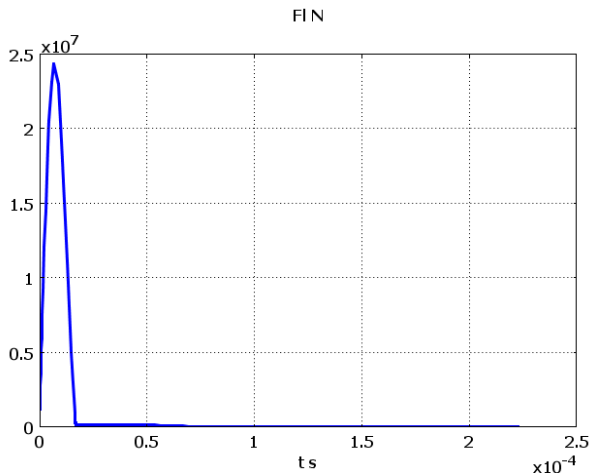


Рис. 7 – Сила Лоренца.

Выводы. Как следует из анализа данных, математическая модель дает возможность в первом приближении оценить возможности системы по разгону макрообъектов на основании уравнений электромагнитного поля, электрической цепи и механики движения.

Список литературы: 1. Болюх В.Ф. Основні напрямки розвитку електромагнітних прискорювачів // Електротехніка і електромеханіка – Харків, 2009. – № 4. – С. 7-13. 2. Рамо С., Уиннери Д. Поля и волны в современной радиотехнике. – М. – Л-д.:ОГИЗ. Главная редакция технико-теоретической литературы, 1948. – 631 с. 3. COMSOL Multiphysics. Учебные пособия на русском языке [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.comsol.com/>

Поступила в редколлегию 12.11.2012