УДК 621.31

М. С. Гринкруг, Н. А. Ткачева

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ГЕНЕРАТОРОМ МЕМБРАННОГО ТИПА

Авторы данной статьи предлагают автономную систему электроснабжения, которая позволит получать электроэнергию за счет использования волн давления и разрежения воздуха, возникающих при движении транспортного средства, например, автомобилей по магистрали. В статье рассмотрена математическая модель импульсного генератора и произведена оценка параметров такой системы электроснабжения.

Ключевые слова: *модель импульсного генератора, автономная система электроснабжения.*

Myron S.Grinkrug, Nina A. Tkacheva. PARAMETER ESTIMATION FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM WITH A MEMBRANE-TYPE GENERATOR (Far Eastern State Academy for Social and Humanity Studies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University).

The authors of this paper suggest an autonomous power supply system, which will produce electricity through the use of pressure waves and rarefaction of air that occur when the vehicle is moving, for example, cars on the highway. In this article the mathematical model of the pulse generator and the estimation of parameters of the system power supply.

Keywords: *the model of the pulse generator*, *stand-alone power system.*

Проблема внедрения нетрадиционных возобновляемых источников энергии является в настоящее время одной из наиболее актуальных. Сегодня стараются найти новые источники энергии, которые были бы выгодны во всех отношениях: простота добычи, дешевизна транспортирования, экологическая чистота и восполняемость.

Такая система электроснабжения была бы полезной для придорожных кафе, кемпингов, станций сотовой связи и других отдельных потребителей энергии, находящихся около автомагистралей далеко от систем централизованного электроснабжения.

Предлагаемая конструкция включает: мембраны и устройства для преобразования энергии колебаний мембран в электрическую энергию. Движение мембраны происходит за счет возникновение волн давления и разряжение воздуха, возникающих при движении автомобилей по шоссе. Механическое движение мембраны приводит в действие импульсный генератор, который вырабатывает импульсный переменный ток. С выхода генератора переменный ток подается на вход выпрямителя, который преобразует переменный ток в постоянный, а с выхода выпрямителя на аккумулятор (накопитель энергии). После аккумулятора включен преобразователь, преобразующий постоянный ток в переменный. Для повышения напряжения до нужного уровня используется трансформатор, с вторичной обмотки которого напряжение доводится до потребителя.

В данной работе рассмотрена математическая модель импульсного генератора и произведена оценка параметров такой системы электроснабжения.

Схема мембранного генератора представлена на рисунке 1.

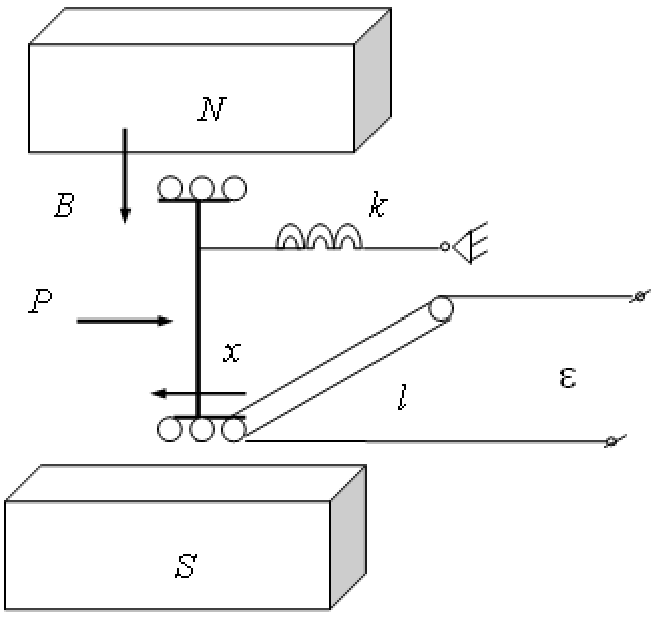

Рисунок 1 — Схема мембранного генератора

На колеблющейся мембране расположен замкнутый проводник, который пересекает силовые линии магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами.

На мембрану генератора с проводниками действуют следующие силы: сила упругости $F_{упр} = k \cdot x$ (k — коэффициент жесткости, $\frac{Н}{м}$; x — перемещение мембраны, $м$), сила давления воздуха $F_д = P \cdot S$ (P — давление, $Па$; S — площадь, $м^2$), сила Ампера $F_a = B \cdot I \cdot l$ (B - магнитная индукция, $Тл$;

I — ток, A; l — длина, $м$). Согласно законам Ома и Фарадея имеем $I = \frac{\varepsilon}{R}$, где $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt}$.

Используя второй закон Ньютона $\sum F = m \cdot a$, получим уравнение:

$$S \cdot P_{\max} \cdot \cos\omega t - k \cdot x - \frac{B \cdot l}{R} \cdot B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt} = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (1)$$

примем, с учетом рисунка 2, принимая, что давление изменяется по гармоническому закону можно оценить максимальное давление и частоту волны воздуха. Максимальное давление может быть принято по формуле: $P_{\max} = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \approx 300\ Па$, где $\rho = 1.27 \frac{кг}{м^3}$ - плотность воздуха, V - скорость автомобиля (принято $80\ \frac{км}{ч}$), соответствующая этим параметрам длина и частота воздушной волны составляют $\lambda = 18 м,\ \omega = 8 c^{-1}$ при принятой длине автомобиля $9 м$.

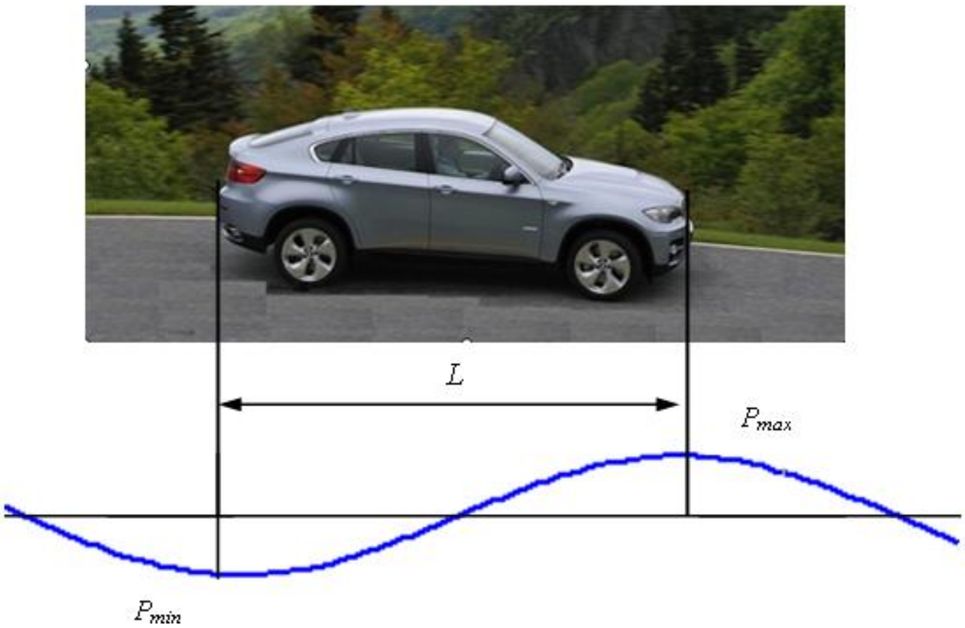

Рисунок 2 — Воздушная волна, образующаяся при движении автомобиля

Преобразовав уравнение (1), получим:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} \cdot x = \frac{S}{m} \cdot P_{\max} \cdot \cos\omega t. \quad (2)$$

Уравнение (2) есть линейное неоднородное дифференциальное уравнение, общее решение которого имеет вид

$$x_{он} = x_{оо} + x_{чн}.$$

В рамках данного математического описания требуется рассматривать два интервала времени при решении уравнения (2) .

1. $0 \le t \le t_1$, где $t_1 = \dfrac{L}{V}$ - время прохождения машины вдоль мембраны, c .

Находим решение однородного уравнения:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} \cdot x = 0.$$

Характеристическое уравнение $\lambda^2 + \dfrac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} \cdot \lambda + \dfrac{k}{m} = 0$ имеет корни

$$\lambda_1 = \frac{-\dfrac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} + \sqrt{\dfrac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4\dfrac{k}{m}}}{2} \quad \text{и} \quad \lambda_2 = \frac{-\dfrac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} - \sqrt{\dfrac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4\dfrac{k}{m}}}{2}.$$

Оценим выражение, стоящее под знаком корня:

$$\frac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4 \cdot \frac{k}{m} \ge 0$$

для характерных значений:

$$l = 1\ м,\ \ R = 0.1\ Ом, m = 0.5\ кг, B = 1.5\ Тл,\ \ \ k = 10\ \frac{Н}{м}, S = 1\ м^2.$$

Вычисления показали, что подкоренное выражение неотрицательно. Следовательно,

$$x_{oo} = c_1 \cdot e^{\frac{-\frac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} + \sqrt{\frac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4\frac{k}{m}}}{2} \cdot t} + c_2 \cdot e^{\frac{-B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} - \sqrt{\frac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4\frac{k}{m}}}{2} \cdot t}.$$

Находим частное решение $x_{чн}$. Правая часть линейного неоднородного дифференциального уравнения в нашем случае имеет вид $f(t) = \dfrac{S}{m} \cdot P_{\max} \cdot \cos\omega t$. Частное решение ищем в виде $f(t) = A \cdot \cos\omega t + B \cdot \sin\omega t$. Выполнив ряд преобразований и действий, получим

$$x_{чн} = \frac{\dfrac{S \cdot P_{\max}}{m}(-\omega^2 + \dfrac{k}{m})}{(-\omega^2 + \dfrac{k}{m})^2 + \dfrac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} \cdot \omega^2} \cdot \cos\omega t + \frac{\dfrac{S \cdot P_{\max} \cdot B^2 \cdot l^2 \cdot \omega}{R \cdot m^2}}{(-\omega^2 + \dfrac{k}{m})^2 + \dfrac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} \cdot \omega^2} \cdot \sin\omega t.$$

И, наконец,

$$x_{он} = c_1 \cdot e^{\frac{-\frac{B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} + \sqrt{\frac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4\frac{k}{m}}}{2} \cdot t} + c_2 \cdot e^{\frac{\frac{-B^2 \cdot l^2}{R \cdot m} - \sqrt{\frac{B^4 \cdot l^4}{R^2 \cdot m^2} - 4\frac{k}{m}}}{2} \cdot t} +$$

$$+\frac{\frac{S\cdot P_{\max}}{m}(-\omega^2+\frac{k}{m})}{(-\omega^2+\frac{k}{m})^2+\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}\cdot\omega^2}\cdot\cos\omega t+\frac{\frac{S\cdot P_{\max}\cdot B^2\cdot l^2\cdot\omega}{R\cdot m^2}}{(-\omega^2+\frac{k}{m})^2+\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}\cdot\omega^2}\cdot\sin\omega t$$ —

общее решение дифференциального уравнения.

Постоянные c_1 и c_2 определяем из начальных условий $x(0)=0,\frac{dx}{dt}(0)=0$.

Тогда

$$c_1=\frac{-\frac{P_{\max}\cdot S}{2\cdot m}\cdot(-\omega^2+\frac{k}{m})\cdot\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\cdot\frac{k}{m}}+\frac{P_{\max}\cdot S}{2\cdot R\cdot m^2}\cdot(3\cdot\omega^2-\frac{k}{m})}{((-\omega^2+\frac{k}{m})^2+\frac{B^4\cdot l^4\cdot\omega^2}{R^2\cdot m^2})\cdot\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\cdot\frac{k}{m}}}$$ и

$$c_2=\frac{-\frac{P_{\max}\cdot S}{m}\cdot(-\omega^2+\frac{k}{m})\cdot\frac{(-\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}+\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\cdot\frac{k}{m}})}{2}+\frac{P_{\max}\cdot S\cdot B^2\cdot l^2\cdot\omega^2}{R\cdot m^2}}{((-\omega^2+\frac{k}{m})^2+\frac{B^4\cdot l^4\cdot\omega^2}{R^2\cdot m^2})\cdot\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\cdot\frac{k}{m}}}.$$

2. $t_1\le t\le\infty$ движение мембраны происходит после прохождения автомобиля.

Находим решение однородного уравнения:

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}\cdot\frac{dx}{dt}+\frac{k}{m}\cdot x=0.$$

Характеристическое уравнение $\lambda^2+\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}\cdot\lambda+\frac{k}{m}=0$ имеет корни

$$\lambda_1=\frac{-\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}+\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\frac{k}{m}}}{2}$$ и $$\lambda_2=\frac{-\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}-\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\frac{k}{m}}}{2}.$$

Следовательно,

$$x_o=c_1\cdot e^{\frac{-\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}+\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\frac{k}{m}}}{2}\cdot t}+c_2\cdot e^{\frac{-\frac{B^2\cdot l^2}{R\cdot m}-\sqrt{\frac{B^4\cdot l^4}{R^2\cdot m^2}-4\frac{k}{m}}}{2}\cdot t}.$$

Постоянные c_1 и c_2 определяем из начальных условий $x(t_1)=a,\frac{dx}{dt}(t_1)=b$, где a,b — координата и скорость мембраны в момент времени t_1, определяемые из решения уравнения (2) на первом этапе. По полученным формулам были проведены расчетные исследования в программной среде MathCad.

В результате была оценена энергия, вырабатываемая генератором при прохождении одного автомобиля, при принятых допущениях она составила около $170\ Дж$.

При плотности потока автомобилей по магистрали 60 машин в час и 15 установленных мембранах может быть обеспечена среднесуточная мощность нагрузки около $1\ кВт$.

Вывод:

Рассматриваемая автономная система электроснабжения позволяет получать электроэнергию за счет использования волн давления и разрежения воздуха, возникающего при движении транспортных средств, и уровень её мощности достаточен для покрытия нагрузки небольших потребителей.