

**ИМПУЛЬСНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Работа посвящена исследованию преобразования электрической энергии в механическую, устроенного по принципу, имеющему место в живой природе.

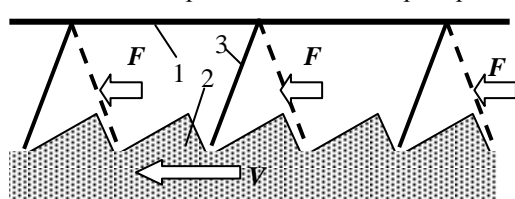
Актуальность работы определяется возможностью электромеханического преобразования с таким же высоким КПД и высокой мощностью в единице объема и массы преобразователя, как в живых организмах.

**ВВЕДЕНИЕ**

Из биофизики известно, что в живом организме получаемая извне энергия – химическая, тепловая, электромагнитного излучения – преобразуется сначала в электрическую энергию и в таком виде накапливается, а затем преобразуется в тот вид энергии, который необходим для жизнедеятельности организма, в частности, в энергию механическую, проявляющуюся в работе мышц [1, с.9]. Природное электромеханическое преобразование очень эффективно: удельная на единицу объема и массы преобразуемая мощность на несколько порядков выше, чем электроприводов, используемых в настоящее время в технике. Это обстоятельство стимулировало изучение принципов преобразования энергии электрических зарядов в энергию движения мышечных волокон.

Оказалось, в частности, что электрическая энергия преобразуется в колебательное движение (а не вращение, как в большинстве технических электроприводов); электрическая энергия подводится импульсами, а не непрерывно; регулирование тяги или скорости производится изменением частоты импульсов и количества исполнительных элементов, участвующих в преобразовании [2, с.144]. Причем нельзя сказать, что природа «не додумалась до колеса»: бактерии используют для перемещения в жидкости вращение винта. Но в процессе эволюции электромеханическое преобразование стало осуществляться импульсно и колебательно [3, 4].

Схема электромеханического преобразования в мышечном волокне представлена на рис.1. Мышца содержит



волокна 1 и 2, к одному из которых прикреплены рычаги – «весла» 3. Под действием импульсной силы  $F$  рычаги 3 поворачиваются. В результате волокна 1 и 2 скользят одно относительно другого со скоростью  $V$ , выполняя полезную работу. В исходном состоянии рычаги возвращаются под действием упругости среды.

В статье [5] выполнен анализ привода, устроенного на описанном принципе, в котором источником силы  $F$  является расталкивание одноименно электрически заряженных частиц. Представляется интересным оценить параметры устройства, в котором сила создается взаимодействием проводников с токами.

Рис.1 – Схема электромеханического преобразования в мышечном волокне.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Цель работы – оценить параметры электромеханического преобразования, устроенного на использовании силы Ампера: установить внешнюю и регулировочную характеристики, возможные значения силы и мощности.

**МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Рассматривается модель, представленная на рис.2. Элемент привода содержит пластины, по которым протекает электрический ток так, что токи в пластинах направлены противоположно. В результате появляется расталкивающая сила, которая используется для привода. Ток в пластины подается импульсом, в бестоковой паузе пластины возвращаются в исходное положение под действием упругости (на рисунке не показана).

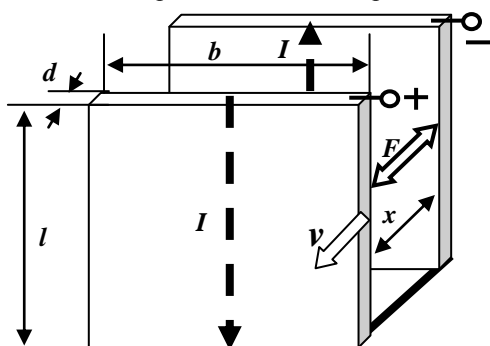


Рис.2 – Модель элемента привода.

Сила, расталкивающая пластины, [6, с.436]

$$F = \frac{\mu_0 l}{2\pi x} I^2, \tag{1}$$

где  $I$  – ток, А;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость, Гн/м;  $x$  – расстояние между проводниками, м;  $l$  – длина проводника, м.

$$I = (U - E) / R, \tag{2}$$

где  $U$  – напряжение источника, В;  $E$  – ЭДС, обусловленная движением пластин, В;  $R$  – сопротивление пластин, Ом.

$$E = Blv, \quad B = \mu_0 H = \mu_0 I / b, \tag{3}$$

тут обозначено  $v$  – скорость движения пластины, м/с;  $b$  – ширина пластины (рис.2), м. Так что

$$F = \frac{\mu_0 l}{2\pi x} \left( \frac{U}{R + \mu_0 l v / b} \right)^2. \tag{4}$$

Выражение (4) описывает зависимость силы от мгновенного расстояния между пластинами  $x$  и скоростью движения  $v$ . Сила прикладывается к приводимому объекту в процессе перемещения пластины от начального положения  $x_0$ , до конечного  $x_k$ . Максимальное значение силы имеет место при  $x = x_0, v = 0$ :

$$F_m = \frac{\mu_0 l}{2\pi x_0} \left( \frac{U}{R} \right)^2, \quad (5)$$

Среднее значение силы

$$F_{CP} = \frac{1}{x_k - x_0} \int_{x_0}^{x_k} F dx = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \frac{U}{R + \mu_0 l v / b} \right)^2 \frac{1}{x_k - x_0} \ln \frac{x_k}{x_0}. \quad (6)$$

Механическая характеристика привода (связь между скоростью и силой) определяется из уравнений (5) и (6) в относительных единицах:

$$\bar{F} = \frac{1}{(1 + \bar{v})^2} \frac{\ln \bar{x}}{\bar{x} - 1}. \quad (7)$$

Тут принято  $\bar{F} = F_{CP} / F_m$ ;  $\bar{v} = v R b / \mu_0 l$ ;  $\bar{x} = x_k / x_0$ .

На рис. 3 представлены характеристики привода как зависимости силы от относительных значений размаха колебаний  $\bar{x}$  и скорости  $\bar{v}$ . Из графиков видно, что характеристики мягкие: сила существенно снижается при увеличении размаха колебаний и скорости.

Так как размах колебаний задан конструкцией привода, регулирование скорости может производиться частотой:

$$v = 2(x_k - x_0) / T \rightarrow v \cong 2f x_k. \quad (8)$$

Здесь  $T$  – период колебаний, с;  $f$  – частота, Гц.

Сила, приложенная к приводимому объекту, регулируется количеством участвующих в приводе элементов – как в мышце. Очевидно, что суммарная сила

$$F_{\Sigma} = F_{CP} N, \quad (9)$$

где  $N$  – число пластин, сцепленных с приводимым объектом.

Энергетические параметры. Алгебраическими преобразованиями выражений, приведенных выше, можно показать, что мощность, отдаваемая приводом,

$$P = v F_{CP} = 2 \cdot 10^{-7} j^2 l b^2 d^2 v (1 + \mu_0 l v / R b)^{-2} \ln(1 + x_k / x_0) / x_k. \quad (10)$$

Тут, кроме приведенных ранее, обозначено  $j$  – плотность тока, А/м<sup>2</sup>.

Удельная на единицу объема  $V = b l (d + x_k)$  мощность

$$P / V \cong 10^{-7} j^2 b v. \quad (11)$$

Это выражение получено при допущениях  $(1 + \mu_0 l v / R b)^{-2} \approx 1$ ,  $(x_0 / x_k) \ln(1 + x_k / x_0) \approx 0,5$ ,  $d^2 / (x_k + d) x_0 \approx 1$ .

Из выражения (11) следует, что анализируемый привод аналогичен традиционному при  $b v \geq 1$ .

Относительные потери мощности

$$p / V = \rho j^2 \approx (2 \div 3) \cdot 10^{-7} j^2. \quad (12)$$

На основании этого выражения и формулы (11) относительные потери мощности

$$p / V = (0,2 \div 0,3) / b v. \quad (13)$$

То есть, для достижения КПД такого же, как традиционных электрических машин, например, 0,8, произведение ширины на скорость исполнительного элемента должно быть более 1.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электропривод, устроенный на принципе использования силы Ампера (притяжение или отталкивание проводников с токами), имеет мягкие нагрузочные характеристики;

его удельная на единицу объема мощность и КПД того же порядка, что и традиционных приводов вращающимися электрическими машинами;

по удельным параметрам он уступает приводу, устроенному на принципе использования силы притяжения или отталкивания заряженных частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скулачев В.П. Энергетика биологических мембран. – М.: Наука, 1989. – 564 с.
2. Антонов В.Ф. и др. Биофизика: Учеб. Для студ. высш. учеб. заведений. – М.: ВЛАДОС. 1999. – 288 С.
3. Скулачев В.П. Электродвигатель бактерий // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. N 9. С. 2-7.
4. Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии в живой клетке // Там же. 1997. N 7. С. 10-17.
5. Чашко М.В., Мельник А.А. Биогенный электропривод. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. 2009,
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: «Наука», – 1968.-940 с.

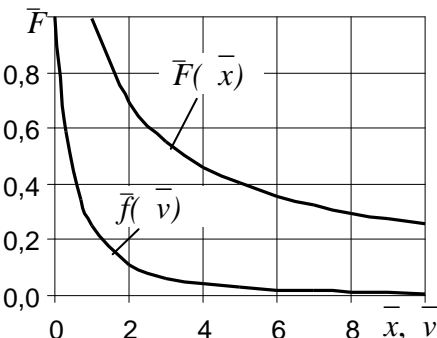


Рис.3 – Механические характеристики импульсного электропривода.