

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 исходное состояние рычаги возвращаются под действием упругости среды.

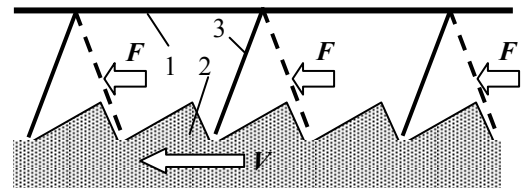


Рис.1 Схема электромеханического преобразования в мышечном волокне.

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.

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).

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

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

где I – ток, А; μ_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

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

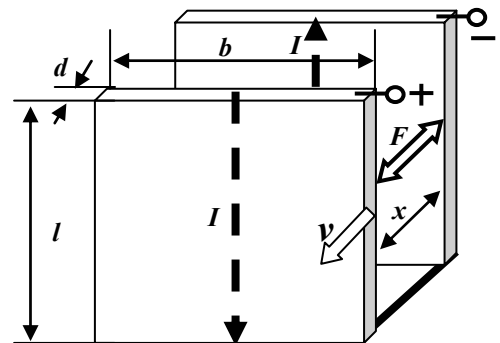


Рис.2 Модель элемента привода.

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:

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

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/м².

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. № 9. С. 2-7.
4. Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии в живой клетке // Там же. 1997. № 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.

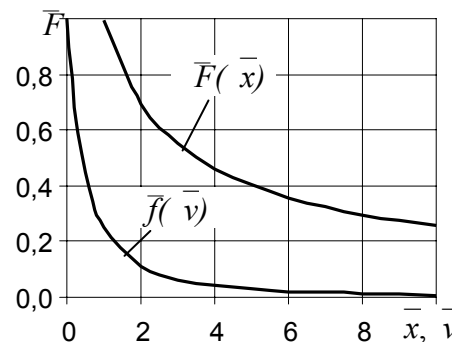


Рис. 3 Механические характеристики импульсного электропривода.