

ИОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД – ПРЕДПОСЫЛКИ

Работа посвящена исследованию способа преобразования энергии электрического поля в механическую энергию, имеющего место в живых организмах. Актуальность работы определяется возможностью преобразования с высоким КПД и высокой мощностью в единице объема и массы преобразователя.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что живые организмы преобразуют электрическую энергию в механическую [1 ÷ 3]. Преобразование идет практически без потерь и с высокой мощностью в единице массы и объема преобразователя. Это обусловлено, на взгляд автора, тем, что, во-первых, преобразование происходит на расстояниях, меньших длины свободного пробега зарядов, во-вторых, преобразуется энергия электрического поля, без участия магнитного.

В живых организмах процесс преобразования происходит в микромасштабах, на расстояниях порядка 10^{-8} м. Современная цивилизация использует преобразователи макромасштабные, с размерами порядка 10^{-2} – 1 м. Осуществимо ли электромеханическое преобразование, реализованное природой, в макромасштабе – не известно, но возможность создать двигатель с удельной мощностью 10^6 Вт/м³, как у бактерий, является достаточным стимулом для исследования.

Преобразование электрической энергии в механическую основано на зависимости, связывающей силу и скорость – параметры механические – с напряженностями электрического и магнитного полей [4, с.442]:

$$F = qE + q[vB],$$

где F – сила, действующая на электрический заряд, Н;

q – значение заряда, Кл;

E – напряженность электрического поля, В/м;

v – скорость заряда, м/с;

B – индукция магнитного поля, Тл.

В «человеческих» электрических машинах составляющая силы qE создает электрический ток – движение зарядов в проводнике со скоростью v , а перемещение проводника происходит под действием составляющей $q[vB]$. Элементом, реализующим преобразование, является проводник с током в магнитном поле. При этом сила, действующая на заряд, обусловленная магнитным полем, $f_M = F/q$. При скорости зарядов в проводнике $v = 10^{-4}$ м/с [4, с.378] и индукции $B = 2$ Тл,

$$f_M = vB = 10^{-4} \cdot 2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Н/Кл}.$$

В электрических машинах, созданных природой, магнитное поле не используется, второе слагаемое отсутствует, есть только сила qE , действующая на заряды. Элементом, реализующим преобразование, является непосредственно поток зарядов, ионов. Движущиеся заряды, взаимодействуя с «исполнительным органом», передают ему свою кинетическую энергию [1, 2]. Сила, действующая на единицу заряда, обусловленная электрическим полем, $f_3 = F/q = E$. Для сравнения принимается, что заряд находится в электрическом поле напряженностью такой же, что и напряженность поля в проводнике $E = j\rho$. При плотности тока $j = 10^6$ А/мм² (1 А/мм²) и удельном сопротивлении проводника, например, меди $\rho = 2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м,

$$f_3 = E = j\rho = 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н/Кл}.$$

То есть сила, обусловленная электрическим полем f_3 , которую используют, например, бактерии, на два порядка больше силы, обусловленной магнитным полем f_M , которую использует человек. Представьте, как потешаются бактерии над человеческим способом преобразования энергии!

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представляется интересным оценить параметры электрического двигателя, устроенного на использовании энергии потока ионов, движущихся под действием электрического поля: мощность на единицу площади, мощность в единице объема, скорость, силу, КПД. Это и является целью данной работы.

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассматривается модель, представленная на рис. 1. Между электродами, расположенными на расстоянии d один от другого, существует напряжение U , под действием которого перемещаются ионы. Перемещение происходит на расстоянии, меньшем длины свободного пробега. На пути потока ионов расположен «ротор», на который ионы воздействуют с силой F . Под действием силы «ротор» развивает скорость v .

Плотность потока зарядов не определяется омическим сопротивлением, как в проводнике, так как перемещение происходит на расстояниях, меньших длины свободного пробега.

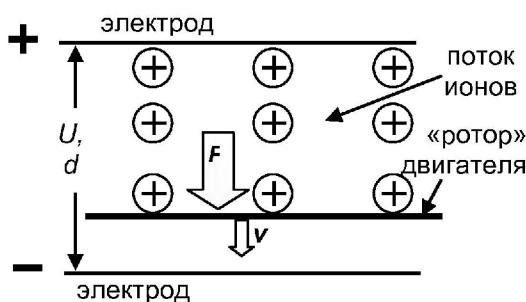


Рис.1 – Схема электромеханического преобразования

Она определяется законом «трех вторых»: [4, с.423]:

$$j_i = \frac{4\sqrt{2}\epsilon\epsilon_0}{9} \cdot \frac{U^{1,5}}{d^2\sqrt{m_i}}, \quad (1)$$

где j_i – плотность тока, А/м²;

e – значение единичного заряда, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

ϵ_0 – электрическая постоянная, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

U – напряжение между электродами, В;

d – расстояние между электродами, м;

m_i – масса иона, г: электрона $m_e=9 \cdot 10^{-28}$; протона (атома водорода, H^+) – $m_H=1,67 \cdot 10^{-24}$; натрия Na^+ – $m_{Na}=38,2 \cdot 10^{-24}$, калия K^+ – $64,9 \cdot 10^{-24}$.

Механическая характеристика привода (связь между скоростью и силой) определяется из уравнений:

$$f_p = \frac{j_i}{e} m_i v, \quad (2)$$

$$v = v_i - v_p; \quad (3)$$

Скорость иона определяется его кинетической энергией: $w_i = \frac{m_i v_i^2}{2} = Ue$,

следовательно,

$$v_i = \sqrt{\frac{2eU}{m_i}}; \quad (4)$$

Здесь обозначены f_p – сила, с которой ионы воздействуют на единицу площади поверхности «ротора», Н/м²;

v_p – скорость «ротора», м/с;

v_i – скорость ионов относительно «статора», м/с;

w_i – энергия иона с зарядом e , эВ.

Из зависимостей (1) – (4) следует

$$f_p = \frac{8}{9} \epsilon_0 \frac{U^2}{d^2} \sqrt{\frac{m_i}{m_e}} \frac{v_i - v_p}{v_i}, \quad (5)$$

После подстановки постоянных ϵ_0 и m_e выражение для силы принимает вид

$$f_p = 2,6 \cdot 10^2 \frac{U^2}{d^2} \sqrt{m_i} \frac{v_i - v_p}{v_i}, \quad (6)$$

или

$$f_p = 2,6 \cdot 10^2 E^2 \sqrt{m_i} s, \quad (7)$$

где $s = \frac{v_i - v_p}{v_i}$, $E = \frac{U}{d}$.

Внешняя характеристика ионного привода $v_p(f_p)$ получена из формулы (6). Аналитическое ее выражение в относительных единицах

$$\bar{v}_p = 1 - \bar{f}_p, \quad (8)$$

где $\bar{v}_p = \frac{v_p}{v_i}$, $\bar{f}_p = \frac{f_p}{f_{p0}}$

За базовые приняты давление на «ротор» при $v_p=0$ из (6) и скорость ионов из (4). Базовое значение давления на «ротор»

$$f_{p0} = 2,6 \cdot 10^2 E^2 \sqrt{m_i}. \quad (9)$$

Оно определяется с точностью до порядка на основании следующего. Напряженность электрического поля в живой клетке $E \approx 10^7$ В/м. Масса ионов $m_i \approx 10^{-22}$ г. Тогда на основании (9) $f_{p0} = 2,6 \cdot 10^5$ Н/м².

Базовое значение скорости v_i определяется как функция напряжения U , под действием которого движутся ионы. Подстановкой в формулу (4) значений $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ и $m_i \approx 10^{-22}$ определяется зависимость скорости ионов от напряжения:

$$v_i = 56\sqrt{U}. \quad (10)$$

Максимально возможное значение напряжения – произведение напряженности электрического поля $E \approx 10^7$ на длину свободного пробега иона $d \approx 10^{-8}$: $U_m \approx 0,1$ В.

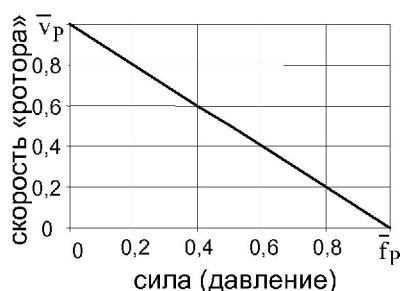


Рис.2 – Зависимость скорости ионного

Графически внешняя характеристика представлена на рис.2. Видно, что скорость снижается с увеличением давления на ротор – как и в асинхронной или постоянного тока машинах. Однако, в ионном приводе снижение скорости происходит не из-за падения напряжения в проводнике. Оно обусловлено тем, что поток ионов неизменен, он зависит только от напряжения. А для большей тяги нужна бóльшая концентрация ионов на «роторе», что при неизменном токе возможно только за счет снижения скорости «ротора» относительно потока ионов. Это различие принципиально: в ионном приводе не происходит рассеяния энергии на омическом сопротивлении.

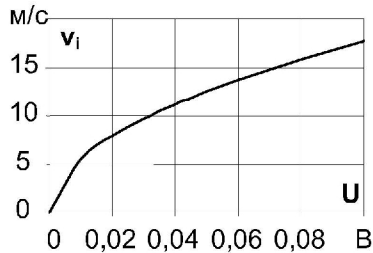


Рис.3 – Зависимость скорости от напряжения.

где f_{CT} – давление, которое необходимо для перемещения «ротора» при установившейся скорости, H/m^2 ; m_p – масса единицы площади «ротора», $\text{г}/\text{м}^2$.

Подстановкой зависимости $f_p(v_p)$ из уравнений (6), (7) и алгебраических преобразований получается

$$\frac{d\bar{v}_p}{dt} + \frac{\bar{v}_p}{b} = \bar{F}, \quad (12)$$

решение этого уравнения

$$\bar{v}_p = \bar{F}(1 - e^{-t/b}) \quad (13)$$

здесь $b = \frac{m_p v_i}{f_{p0}}$, с; $\bar{F} = 1 - \frac{f_{CT}}{f_{p0}}$.

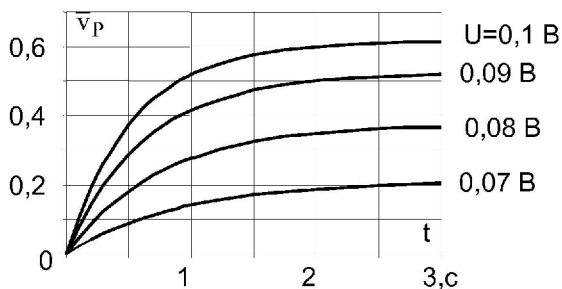


Рис.4 – Изменение скорости при пуске в зависимости от напряжения.

Сущность параметра b – это время, за которое «ротор» массой m_p под действием максимального давления f_{p0} разгонится до максимальной скорости v_i . Можно показать, что, например, для «ротора» с массой бумаги ($80 \text{ г}/\text{м}^2$) $b \approx 0,5$ с.

Сущность параметра \bar{F} – давление на «ротор» (относительное значение), которое его разгоняет.

На рис. 4 представлено изменение скорости от времени при разгоне при различных напряжениях U . Из графиков видно, что длительность пуска от напряжения практически не зависит. Разумеется, она известным образом зависит от массы «ротора» и приводимого механизма.

Производится оценка удельных энергетических параметров привода. Мощность, отдаваемая механизму,

$$p_p = f_p v_p. \quad (14)$$

Подстановкой в эту формулу f_p из формулы (6) получается выражение для мощности на «роторе» на единицу площади:

$$p_p = 2,6 \cdot 10^2 \frac{U^2}{d^2} \sqrt{m_i} \frac{v_i - v_p}{v_i} v_p. \quad (15)$$

Приравниванием нулю производной по скорости «ротора» определяется, что максимум мощности имеет место при $v_p = 0,5 v_i$. Подстановкой в формулу (14) этого выражения и v_i из (4) определяется максимальная мощность ионного привода на единицу площади, $\text{Вт}/\text{м}^2$:

$$p_{\text{mis}} = 3,6 \cdot 10^{-8} \frac{U^{2,5}}{d^2}. \quad (15)$$

При $U=0,1$ и $d=10^{-8}$ $p_{\text{mis}} \approx 1,1 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Поток мощности в зазоре традиционной электрической машины

$$P_{\text{MS}} = \frac{B^2 v}{\mu_0} = \frac{B^2 \pi d f}{\mu_0}, \quad (16)$$

где B , d , f – соответственно индукция в зазоре, T , диаметр, m , и частота вращения ротора, Гц .

Если $B=1T$, $d=1$ м, $f=50$ Гц, $p_{ms} \approx 1,2 \cdot 10^8$ Вт/м², то есть, на два порядка выше, чем ионного привода.

Но магнитный поток обеспечивается магнитопроводом толщиной приблизительно равной диаметру ротора, так что мощность на единицу объема традиционной электрической машины, Вт/м³

$$p_{mv} = \frac{p_{ms}}{d} \frac{B^2 v}{\mu_0} = \frac{B^2 \pi d f}{d 4\pi 10^{-7}} = \frac{B^2 f}{410^{-7}} = \frac{1^2 50}{4 \cdot 10^{-7}} = 1,25 \cdot 10^8. \quad (17)$$

А в ионном приводе объем зарядов, обеспечивающих напряжение U , имеет незначимую величину по сравнению с толщиной мембраны – статора, так что толщина ионного привода практически равна толщине мембраны. И удельная на единицу объема мощность ионного привода, Вт/м³

$$p_{miv} = 3,6 \cdot 10^{-8} \frac{U^{2,5}}{d^3} = 1,1 \cdot 10^{14}. \quad (18)$$

То есть, мощность в единице объема ионного привода теоретически на шесть порядков больше, чем мощность традиционного привода.

Причина этого имеет принципиальный характер. В соответствии с законами электродинамики $\text{div } D \neq 0$, а $\text{div } B = 0$. Это означает, что поток ионов может быть незамкнутым, а магнитный поток должен замыкаться обязательно. Так что магнитопровод является неотъемлемой частью машины, причем занимающей в десятки раз больший объем, чем зазор между статором и ротором, в котором, собственно, и происходит преобразование энергии в механическую.

Предпосылки реализации. Достоинства и, возможно, существование ионного привода обусловлены тем, что процесс преобразования энергии происходит на расстояниях d , меньших длины свободного пробега ионов λ . Этот параметр обратно пропорционален давлению [4, с. 209]

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{p_2}{p_1}.$$

При нормальных условиях (температура $T=300$ К, давление $p = 1$ атм) $\lambda = 10^{-8} \div 10^{-7}$ м [5]. Это соответствует плотности ионов $\approx 10^{25}$ 1/м³. Для реализации ионного привода в макромасштабе, например, на длине $10^{-2} \div 1$ м, необходим вакуум с давлением, атм

$$p_2 = p_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 1 \frac{10^{-8}}{10^{-2} \div 1} = 10^{-6} \div 10^{-8}, \quad (19)$$

что соответствует плотности ионов $1 \div 100$ 1/м³.

Возможно ли и как осуществить ионный привод подлежит дальнейшему исследованию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование потока ионов для преобразования электрической энергии в механическую обеспечивает приемлемую внешнюю и регулировочную характеристики привода.

Мощность преобразователя порядка 10^6 Вт/м², что в 100 раз меньше, чем в традиционных электрических машинах, и мощность 10^8 Вт/м³, что в 10^6 раз больше. КПД ионного привода около 100%.

Энергетические параметры привода обусловлены двумя обстоятельствами: 1. отсутствием магнитного поля как элемента, обеспечивающего преобразование. С этим связана высокая плотность мощности на единицу объема; 2. преобразование происходит на длине, меньшей длины свободного пробега ионов – это обеспечивает отсутствие потерь энергии и, соответственно, высокий КПД привода.

Не существует объективных причин, препятствующих реализации привода в макромасштабах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скулачев В.П. Электродвигатель бактерий // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. N 9. С. 2-7.
2. Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии в живой клетке // Там же. 1997. N 7. С. 10-17.
3. Плонси Р, Барр Р., Биозлектричество: Количественный подход. – М.: Мир, 1992, 366 с.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: «Наука»,- 1968.-940 с.
5. <http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/029/949.htm>