

А. Е. БОЖКО, д-р техн. наук, профессор, член-корр. НАН Украины,
ИПМаш НАН Украины;

Е. М. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ «ХАДИ»

З. А. ИВАНОВА, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИПМаш НАН Украины

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ

У роботі представлені особливості функціонування електромагнітного поршневого двигуна, що містить поршні зі стоками, з'єднані за допомогою загального колінчатого вала з маховиком, розміщені в циліндрах, оснащених установленими в мертвих точках соленоїдами.

Ключові слова: поршень, циліндр, соленоїд, колінчастий вал, батарея конденсаторів, система управління.

В работе представлены особенности функционирования электромагнитного поршневого двигателя, содержащего поршни со стоками, соединенные с помощью общего коленчатого вала с маховиком, размещенные в цилиндрах, оснащенных установленными в мертвых точках соленоидами

Ключевые слова: поршень, цилиндр, соленоид, коленчатый вал, батарея конденсаторов, система управления.

In-process the presented features of functioning of electromagnetic reciprocator, that contains the pistons with flows, united by means of general knee axle with a fly-wheel, are accommodated in the cylinders equipped by the solenoids set in dead centers.

Key words: piston, cylinder, solenoid, crankshaft, the battery of capacitors, the system of management.

Представлены особенности функционирования электромагнитного поршневого двигателя, выполненного по принципу соленоида. В двигателе имеются шатуны и коленчатый вал, вращающийся в подшипниках скольжения [1].

При разработке двигателя была поставлена задача переоснащения электрической системы двигателя конструктивными элементами, которые могли бы работать на низкотоковых нагрузках, а двухсторонний ход поршневого механизма был бы реализован с помощью однотипных электромагнитных элементов, что исключает повышение энергозатрат, уменьшение разномоментных тяговых усилий в нижней и верхней мертвых точках с нарушением плавного вращения коленчатого вала и разбалансирование хода поршней, за счет чего достигается снижение энергопотребления на единицу мощности двигателя, улучшение равномерности хода поршня и повышение частоты вращения коленчатого вала.

Поставленная задача достигается тем, что в данном электромагнитном поршневом двигателе, который имеет поршни, соединенные один с одним с помощью общего коленчатого вала с маховиком и размещенные в цилинд-

рах, оснащенных установленными в нижней мертвой точки соленоидами, а у верхней мертвой точки тяговыми элементами, связанными с последовательно соединенными коммутатором, автоматической системой управления, высоковольтным трансформатором, выпрямителем, конденсаторной батареей, генератором переменного тока (мультивибратором Ройера [2]). В верхних мертвых точках цилиндров установлены другие соленоиды, а поршни в верхней части жестко связаны со штоками, установленными с возможностью высовывания из цилиндров выполнены из ферромагнитного материала, при этом верхние обмотки соленоидов каждого из непарных поршней и нижние обмотки соленоидом каждого из парных поршней через коммутатор связаны с разноименными полюсами конденсаторной батареи. В электромагнитном поршневом двигателе в каждую пару поршень-цилиндр с установленными в мертвой точке соленоидами вводится дополнительный соленоид, установленный в верхней мертвой точке, что позволяет уменьшить энергопотребление на единицу мощности электродвигателя, уравновесив суммарные моменты количества движения с идентичными тяговыми усилиями, что приводит до равномерного хода поршня и частоты вращения коленчатого вала, упрощая конструктивное исполнения изделия в целом.

Поршни цилиндров (с шатунами) в нижней части со стороны, прилегающей к коленчатому валу, жестко связаны с штоками, что уравнивает силовой момент и которые установлены с возможностью выхода из цилиндра на длину хода поршня. Эти штоки, как было отмечено, выполнены из ферромагнитного материала с целью увеличения магнитной проводимости в соленоиде, снижение энергопотребления двигателя и увеличения равномерного хода поршня.

Верхние обмотки соленоидов каждого из непарных поршней и нижние обмотки соленоидов каждого из парных поршней через коммутатор связаны с разноименными полюсами конденсаторной батареи, что позволяет выравнивать моменты на противоположных направлениях движения поршней и суммировать тяговые усилия моментов движения с целью увеличения мощности двигателя. Для дальнейшего увеличения мощности двигателя можно разместить несколько пар параллельно соединенных цилиндров с поршнями, связанных через кривошипно-шатунные механизмы с коленчатым валом.

Структурно-механическая схема данного двигателя представлена на рисунке. Здесь изображена схема двигателя с двумя парами поршней и цилиндров с соленоидами. Элементы, входящие в общую схему двигателя, следующие: 1, 2 – цилиндры с установленными в нижней мертвой точке первыми соленоидами (3, 4) и верхней мертвой точке другими соленоидами (5, 6). В цилиндрах 1, 2 установлены поршни 7, 8 со штоками 9, 10 и шатунами 11, 12 из ферромагнитного материала, которые соединены с коленчатым валом 13, оснащенный маховиком 14. Электромагнитный двигатель включает в свою схему генератор постоянного тока 15, выход которого соединен с аккумуляторной батареей 16. Генератор 15 своим валом (ротором, якорем) механически соединен с коленчатым валом 13.

Выход батарей 16 соединен с блоком питания автоматической системы управления 17 и преобразователем постоянного тока в переменный – (мультивибратор с трансформаторной связью) 18.

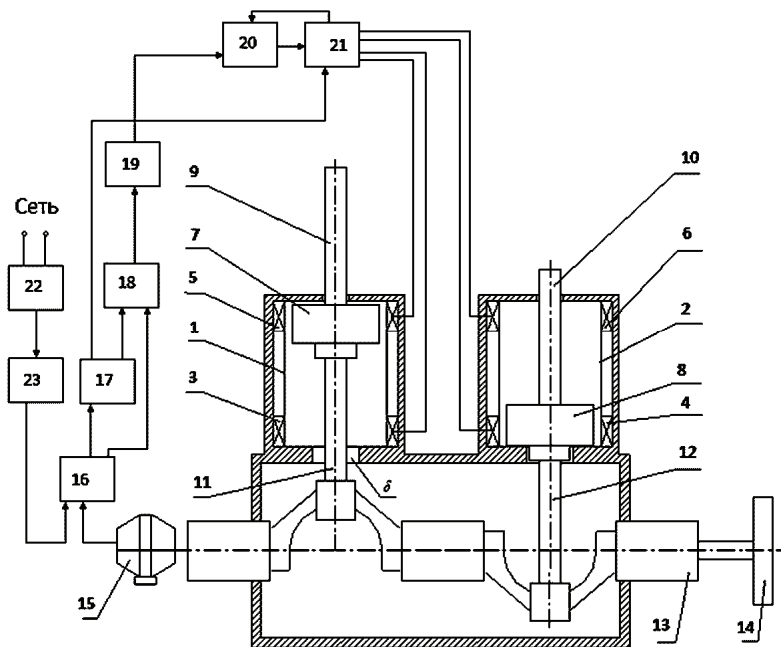


Схема электромагнитного поршневого двигателя

Выход мультивибратора Ройера подключен через выпрямитель 19 к входу конденсаторной батареи 20, а выход системы управления 17 подключен к входу коммутатора 21. В схеме двигателя также имеется трансформатор 22 (понижающий), первичной обмоткой подключаемый к источнику сетевого напряжения, а вторичной обмоткой – к аккумуляторной батарее через выпрямитель 23. Конденсаторная батарея включает в себя $2N$ высокочастотных конденсаторов большой емкости, где N – число цилиндров.

Работа двухцилиндрового двигателя следующая. Считаем, что аккумуляторная батарея 16 заряжена до необходимого напряжения U_0 . В момент пуска двигателя от батареи 16 поршень 7 находится в верхней мертвой точке цилиндра 1, а поршень 8 находится в нижней мертвой точке цилиндра 2. При команде автоматической системы управления 17 с заряженной до напряжения U_{c11} через коммутатор 21 на обмотку соленоидов 5 поршня 7 подается импульс этого напряжения. По обмотке 5 протекает ток i_{11} , который наводит в магнитопроводе и поршне 7 (со штока) магнитный поток Φ_{11} . Этот магнитный поток создает тяговое усилие F_{11} , действующие на поршень 7 таким об-

разом, чтобы поршень 7 мог перемещаться. Поршень 7, отталкиваясь от соленоида 5, движется вниз по цилиндру 1 и через кривошипно-шатунный механизм 11 вращает коленчатый вал 13. Одновременно с подачей импульса напряжения U_{c11} на обмотку соленоида 5 подается импульс напряжения U_{c21} на обмотку соленоида 4, вызывая в ней ток i_{21} и соответственно в поршне 8 наводится магнитный поток Φ_{21} . Этот поток Φ_{21} создает тяговое усилие F_{21} , направленной вверх цилиндра 2 и поршень 8 под действием этого тягового усилия F_{21} движется вверх. Этим самым обеспечивается увеличения момента вращения коленчатого вала 13.

Далее импульсы напряжений U_c с предварительно заряженных конденсаторов 20 подаются соответственно на обмотки соленоидов 3, 6 и поршни 7, 8, которые движутся в противоположных направлениях через свои кривошипно-шатунные механизмы 11, 12 и коленчатый вал 13 разгоняет двигатель до необходимых оборотов.

Скорость вращения коленчатого вала регулируются величиной амплитуды импульсов U_c , идущих с заряженных конденсаторов 20, то есть величинами токов, которые протекают по обмоткам соленоидов 3, 4, 5, 6. Автоматическая система 17 совместно с коммутатором 21 управляет зарядкой и разрядкой конденсаторной батареи 20 на соответствующие обмотки соленоидов 3, 4, 5, 6 и управлением преобразователя 18 с целью подзарядки от него через выпрямитель 19 конденсаторной батареи 20. Аккумуляторная батарея 16 заряжается от сети через трансформатор 22 и выпрямитель 23 и во время вращения коленчатого вала 13 от генератора 15.

В предлагаемом двигателе уменьшено энергопотребление на единицу мощности в результате взаимодействия магнитного поля соленоидов и ферромагнитных поршней. При подаче импульсов тока создается уравновешенное синхронное движение поршней с плавным вращением коленчатого вала двигателя. Кинетическая энергия поршня преобразовывается в кинетическую энергию маховика, которые через вал и коробку передач (на рисунке она не показана) передается на трансмиссию и генератор 15 для подзарядки аккумуляторной батареи 16. Предлагаемая конструкция двигателя может быть выполнена с большим количеством цилиндров по сравнению с рассматриваемыми. Однако принцип работы двигателя остается тем же.

Далее остановимся на работе коммутатора 21. Это устройство заменяет распределительный механизм двигателя внутреннего сгорания. Оно включает в себя ряд механических контактов, расположенных в верхней и нижней мертвых точек каждого цилиндра и системы управления тиристорами, включенных последовательно в цепи разряда конденсаторов батареи 20.

Еще раз подчеркиваем, что использование данного устройства позволяет уменьшить энергопотребление на единицу мощности двигателя, стабилизирует равномерность хода поршня и частоты вращения коленчатого вала, исключает потребление горючих материалов (бензина, газа и др.). Данный двигатель экологически безопасен.

Далее рассмотрим основные аспекты теории этого двигателя.

При разряде конденсатора на обмотку соленоида ток в электроцепи записывается выражением [3]

$$i(t) = \frac{U_{c0}}{(p_1 - p_2)L} (-e^{tp_1} + e^{tp_2}), \quad (1)$$

где U_{c0} – начальное напряжение на конденсаторе, t – время, L – индуктивность обмотки соленоида,

$$p_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}},$$

r – активное сопротивление обмотки соленоида, C – емкость конденсатора,

$$L = w^2 G; \quad G = \mu_0 \frac{S}{2\delta}, \quad (2)$$

где w – число витков обмотки соленоида, G – магнитная проводимость в цилиндре с поршнем, μ_0 – магнитная проницаемость воздуха (в зазоре δ – смотри рисунок), S – площадь поперечного сечения магнитопровода возле зазора δ , $S = 2\pi Rh$, где R – радиус окружности магнитопровода, h – толщина магнитопровода возле зазора.

Согласно закону полного тока [4], ток $i(t)$ вызывает в магнитопроводе магнитный поток $\Phi = iwG$. Этот магнитный поток создает тяговое усилие F , которое, действуя на поршень, перемещает его в цилиндре. Поршень своим движением через кривошипно-шатунный механизм вращает коленчатый вал. Величина тягового усилия определяется формулой [5]

$$F = \mu_0 S \left(\frac{iw}{2\delta} \right)^2. \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в (1), получим общую формулу тягового усилия, возникающего в двигателе в виде

$$F(t) = \mu_0 S \left(\frac{wU_{c0}}{(p_1 - p_2)2\delta L} (-e^{tp_1} + e^{tp_2}) \right)^2$$

или с учетом (2)

$$F(t) = \frac{1}{\mu_0 S} \left(\frac{U_{c0}}{(p_1 - p_2)2w\delta G} (-e^{tp_1} + e^{tp_2}) \right)^2. \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что тяговое усилие прямо пропорционально квадрату начального напряжения на конденсаторе.

Для определения скорости движения поршня в цилиндре запишем уравнение

$$F_i - F_c = m \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm_u}{da}, \quad (5)$$

где m – масса поршня совместно с кривошипно-шатунным механизмом, v –

скорость движения поршня, a – перемещение поршня, m_u – приведенная масса, как функция от a , F_c – сила сопротивления (в нашем случае сила трения).

Из уравнения (5) получаем величину скорости перемещения поршня в цилиндре в виде [6]

$$V_i = \sqrt{\frac{2}{m} \int_{a_0}^{a_1} (F - F_c) da + \frac{m_u}{m} v_0^2}. \quad (6)$$

Подставляя в (6) выражение (4), получим зависимость скорости перемещения поршня в цилиндре также от параметров соленоида в виде

$$V_i = \left(\frac{2}{m} \int_{a_0}^{a_1} \left\{ \frac{1}{\mu_0 S} \left(\frac{U_{c0}}{(p_1 - p_2) w} (e^{tp_2} - e^{-tp_1}) \right)^2 - F_c \right\} da + \frac{m_u}{m} v_0^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Как видно из выражения (7) скорость V_i в каждой i -й точке S_i при движении поршня пропорциональна величине U_{c0} , то есть величине начального напряжения на конденсаторе. А это значит, что величину скорости можно регулировать с помощью величины U_{c0} , которое может в свою очередь регулироваться системой управления 17. Понятно, что и скорость вращения коленчатого вала двигателя также будет пропорциональна величине U_{c0} и зависит от числа поршней.

Вывод: дана основная конструкция двигателя и теоретический аспект основного функционирования электромагнитного поршневого двигателя.

Список литературы: 1. Божко О.Є., Личкатий Є.О., Белых В.І., Иванов Є.М. Электромагнітний поршневий двигун. Патент України № 61108, Бюл. № 13 від 11.07.2011 р. 2. Божко А.Е. Принцип регулирования частоты генерируемого сигнала в мультивибраторе Ройера // Доповіді НАНУ. – 2008. – № 1. – С. 83-86. 3. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. – М.: Сов. радио, 1959. – 404 с. 4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с. 5. Божко А.Е. Теория электромагнитных возбудителей / Божко А.Е., Белых В.І., Иванов Є.М., Мякохлеб К.Б. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 436 с. 6. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. 1988. – 640 с.

Поступила в редколлегию 02.10.2012