

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С УПРУГОЙ СВЯЗЬЮ РОТОРА

А.Е. Антонов, докт.техн.наук, **И.С.Петухов**, канд.техн.наук, **А.А.Филоменко**
 Институт электродинамики НАН Украины,
 пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.
 e-mail: petuhov@ied.org.ua

Рассмотрен вариант построения бесконтактного магнитоэлектрического двигателя с ограниченным углом отклонения ротора. Структура двигателя содержит постоянный двухполюсный магнит ротора, единственную обмотку управления, постоянный магнит статора, ось намагничивания которого ортогональна электрической оси обмотки, и неподвижный магнитопровод, охватывающий обмотку. Получена математическая модель динамического состояния двигателя, моментные и динамические характеристики двигателя. Библ. 5, рис. 5.

Ключевые слова: постоянный магнит, бесконтактный двигатель магнитоэлектрического типа, динамическое состояние

Существует особый класс исполнительных электромеханических устройств, предназначенных для реализации возвратно-вращательного движения рабочих органов в некоторых типах приборов. Такие исполнительные устройства используются в специальных шлифовально-полировальных инструментах, медицинских инструментах для обработки послеоперационных рубцов и швов, а также в многофункциональных средствах аппаратной косметологии для проведения процедур лимфодренажа, дермотонии и микрошлифовки кожи. Привод возвратно-вращательного движения может быть построен на основе электродвигателя с постоянно вращающимся ротором, вал которого кинематически соединен с рабочим органом посредством кулисного или кулачкового механизма. Однако для достижения бесшумности работы приборов и повышения безопасности их применения возможно реализовать управление положением и скоростью движения рабочего органа, не прибегая к дополнительным механическим передачам. Исполнительный двигатель в этом случае целесообразно строить по бесконтактной магнитоэлектрической схеме, позволяющей минимизировать габариты и энергопотребление привода [1].

Экспериментальные испытания двигателя показывают, что резонанс имеет ярко выраженный характер, поэтому он влияет на эргономичность работы инструмента, а также может привести к нежелательному режиму работы рабочего органа. Эти факторы являются необходимыми для того, чтобы резонансный режим работы был прогнозируемым. Целью данной работы является определение влияния конструктивных размеров и характеристик материалов на резонансную частоту.

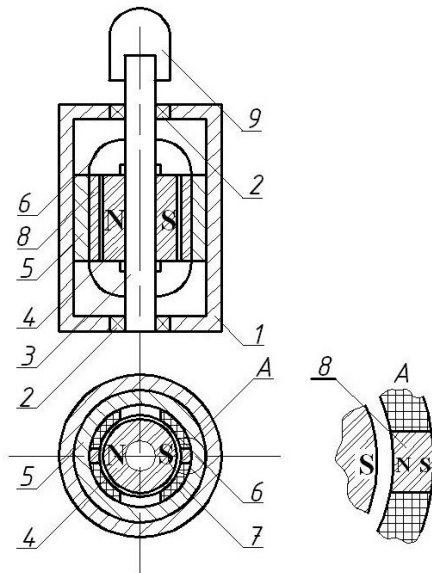


Рис. 1

Общая схема построения бесконтактного двигателя магнитоэлектрического типа для реализации возвратно-вращательного движения ротора показана на рис. 1. Здесь в корпусе 1 установлен в подшипниках 2 вал 3, на котором установлен двухполюсный постоянный магнит 4. С корпусом жестко соединен концентричный валу магнитопровод 5, на внутренней поверхности которого установлены две зеркально отраженные и соединенные между собой электрически катушки 6 и 7, составляющие единую электрообмотку. Между катушками 6 и 7 установлен один магнит 8 (или два диаметрально противоположных). Рабочий орган 9 (например, абразивная насадка) установлен непосредственно на валу 3.

Благодаря взаимодействию магнитных полей неподвижного магнита 8 и магнита ротора 4 при обесточенной обмотке достигается принудительная ориентация ротора в положение, при котором его полюса располагаются против активных частей катушек 6 и 7. Магнитное взаимодействие между

магнитами ротора и статора обеспечивает упругую связь между ними, благодаря чему рассматриваемая магнитная система находится в положении устойчивого равновесия.

Пока обмотка не подключена к источнику питания, магнит 4 вместе с валом 3 и рабочим органом 9 занимает положение, соответствующее рис. 1, при котором оси намагничивания магнитов ротора и статора расположены в одной плоскости. При подключении обмотки к источнику тока возникает электромагнитный момент, который выводит ротор из положения устойчивого равновесия, и отклоняет его на угол, при котором электромагнитный момент обмотки уравнивает момент магнитного взаимодействия ротора с магнитом статора. Изменение направления тока в обмотке приводит к отклонению ротора в противоположную сторону. Таким образом, регулирование частоты и амплитуды тока в обмотке приводит к изменению частоты и амплитуды отклонения рабочего органа.

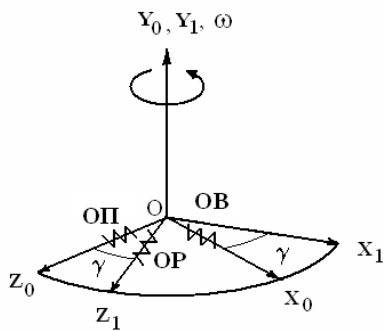


Рис. 2

Для построения модели динамического состояния двигателя воспользуемся фундаментальным интегральным принципом Гамильтона. Рассмотрим при этом два варианта построения двигателя – с электромагнитным или магнитным способами возбуждения потоков ротора. Расположим в неподвижной прямоугольной системе координат $X_0Y_0Z_0$ (рис. 2) две обмотки: обмотку вращения (ОВ) и обмотку электромагнитной пружины (ОП), расположив их соосно координатным осям OX и OZ соответственно. Обмотку возбуждения ротора (ОР) свяжем с подвижной системой координат $X_1Y_1Z_1$, развернутой в некоторый момент времени относительно неподвижной системы координат вокруг оси OY на угол γ . Моменты инерции ротора относительно трех взаимно ортогональных осей связанной системы координат

обозначим J_x, J_y, J_z . Поскольку рассматриваемый двигатель имеет особенности в виде упругой связи между ротором и статором при ограниченных углах поворота ротора, остановимся более подробно на происходящих в нем энергетических процессах. Очевидно, что запасание механической кинетической энергии происходит только во вращающемся роторе, поэтому выражение механической кинетической энергии рассматриваемой электромеханической системы будет иметь вид

$$T_p = \frac{1}{2} (J_x \omega_x^2 + J_y \omega_y^2 + J_z \omega_z^2),$$

где $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции абсолютной угловой скорости ротора на оси связанной системы координат OX_1, OY_1, OZ_1 .

Поскольку ось вращения ротора всегда нормальна к плоскости X_0OZ_0 , то $\omega_x = 0, \omega_y = \omega, \omega_z = 0$, а выражение для кинетической энергии ротора в динамическом режиме, когда скорость вращения изменяется во времени, примет вид $T_p = 0,5 J_y \dot{\gamma}^2$.

В электрической части машины происходит запасание энергии в виде энергии магнитного поля в индуктивностях обмоток. При этом энергию, запасаемую в электрическом поле в рассматриваемом случае можно не принимать во внимание ввиду незначительности плотности этой энергии ($\epsilon E^2/2$) по сравнению с плотностью энергии магнитного поля.

Принимая обычные для беспазовых двигателей с сосредоточенными параметрами цепи допущения об электрической линейности системы, магнитной однородности среды и постоянстве собственных индуктивностей обмоток [5], примем выражение для энергии электромагнитного поля в виде $W = 0,5 \sum_{i,j}^3 L_{ij} i_i i_j$, где L_{ij} – собственные и взаимные индуктивности обмоток; i_i, i_j – токи в обмотках.

Поскольку по условию физической модели электрические оси обмоток управления и пружины взаимно ортогональны, а ввиду отсутствия ферромагнитных сердечников в обмотках статора $\mu = \mu_0$, то взаимные индуктивности обмоток управления можно считать равными нулю. В то же время взаимные индуктивности роторной обмотки с обмотками статора изменяются при изменении положения ротора, поскольку меняются коэффициенты электромагнитных связей между ними. В соответствии с рис. 2 запишем

$$M_{PX} = M_{XP} = M_X \sin \gamma; \quad M_{PZ} = M_{ZP} = M_Z \cos \gamma,$$

где M_X, M_Z – взаимные индуктивности роторной обмотки с соответствующей обмоткой статора при соосном их расположении.

С учетом изложенного выражение для энергии электромагнитного поля рассматриваемой беспазовой машины примет вид

$$W_M = 0,5(L_X \cdot i_X^2 + L_Z i_Z^2 + L_P i_P^2 + 2M_X \sin \gamma \cdot i_X i_P + 2M_Z \cos \gamma \cdot i_Z i_P).$$

Тогда полное выражение для силовой функции Лагранжа

$$L = T_P + W_M = 0,5(J_Y \dot{\gamma}^2 + L_X i_X^2 + L_Z i_Z^2 + L_P i_P^2 + 2M_X \sin \gamma \cdot i_X i_P + 2M_Z \cos \gamma \cdot i_Z i_P). \quad (1)$$

Для учета сил рассеяния в двигателе воспользуемся диссипативной функцией Релея. В механической части системы рассеяние подводимой энергии происходит только за счет вязкого трения, которое зависит от скорости ротора. Функция рассеяния для механической части имеет вид $F_M = 0,5(\dot{\gamma} \nu_Y)$, где ν_Y – коэффициент вязкого трения, возникающего при движении ротора вокруг оси OY .

В электрической части системы рассеяние энергии происходит на активных сопротивлениях обмоток R_{OB}, R_{OP}, R_P и определяется токами в обмотках i_X, i_Y, i_Z , которые являются электрическими аналогами коэффициентов вязкого трения

$$F_E = 0,5(i_X^2 R_{OB} + i_Z^2 R_{OP} + i_P^2 R_P).$$

В результате диссипативная функция Релея для рассматриваемого случая принимает вид

$$F = F_M + F_E = 0,5 \left[\dot{\gamma} \nu_Y + (i_X^2 R_{OB} + i_Z^2 R_{OP} + i_P^2 R_P) \right]. \quad (2)$$

Для построения модели состояния двигателя необходимо выполнить операции дифференцирования силовой функции Лагранжа и диссипативной функции Релея по выбранным обобщенным координатам, скоростям и времени и подставить результаты в уравнения Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_k} + \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_k} = Q_k. \quad (3)$$

Дифференцирование функций (1) и (2) по обобщенным координатам, скоростям и времени дает

$$\partial L / \partial \gamma = M_X i_X i_P \cos \gamma - M_Z i_Z i_P \sin \gamma; \quad \partial L / \partial \dot{\gamma} = J_Y \dot{\gamma}; \quad \partial L / \partial i_X = L_X i_X + M_X i_P \sin \gamma;$$

$$\partial L / \partial i_Z = L_Z i_Z + M_Z i_P \cos \gamma; \quad \partial L / \partial i_P = L_P i_P + M_X i_X \sin \gamma + M_Z i_Z \cos \gamma;$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\gamma}} \right) = J_Y \cdot \ddot{\gamma}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial i_X} \right) = L_X \frac{di_X}{dt} + M_X \left(i_P \dot{\gamma} \cos \gamma + \frac{di_P}{dt} \sin \gamma \right);$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial i_Z} \right) = L_Z \frac{di_Z}{dt} + M_Z \left(-i_P \dot{\gamma} \sin \gamma + \frac{di_P}{dt} \cos \gamma \right);$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial i_P} \right) = L_P \frac{di_P}{dt} + M_X \left(i_X \dot{\gamma} \cos \gamma + \frac{di_X}{dt} \sin \gamma \right) - M_Z \left(i_Z \dot{\gamma} \sin \gamma + \frac{di_Z}{dt} \cos \gamma \right);$$

$$\partial F / \partial \dot{\gamma} = \dot{\gamma} \nu_Y; \quad \partial F / \partial i_X = i_X R_X; \quad \partial F / \partial i_Z = i_Z R_Z; \quad \partial F / \partial i_P = i_P R_P.$$

Поскольку обмотка электромагнитной пружины возбуждена постоянным током, то член с di_Z/dt обращается в нуль. Подставляя результаты дифференцирования в (3), записав в правых частях уравнений внешние обобщенные силы, которые соответствуют обобщенным координатам и скоростям каждого из уравнений, получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений динамического состояния беспазового электродвигателя при принятых условиях и ограничениях

$$J_Y \ddot{\gamma} - M_X i_X i_P \cos \gamma + M_Z i_Z i_P \sin \gamma + \dot{\gamma} \nu_Y = m_Y; \quad (4)$$

$$L_X \frac{di_X}{dt} + M_X \left(i_P \dot{\gamma} \cos \gamma + \frac{di_P}{dt} \sin \gamma \right) + i_X R_X = U_X; \quad (5)$$

$$M_Z \left(-i_P \dot{\gamma} \sin \gamma + \frac{di_P}{dt} \cos \gamma \right) + i_Z R_Z = U_Z; \quad (6)$$

$$L_P \frac{di_P}{dt} + M_X \left(i_X \dot{\gamma} \cos \gamma + \frac{di_X}{dt} \sin \gamma \right) - M_Z i_Z \dot{\gamma} \sin \gamma + i_P R_P = U_P. \quad (7)$$

Для перехода к модели состояния двигателя с магнитным возбуждением потока представим постоянный магнит ротора в виде токового слоя с поверхностным током I_p [2], выразив взаимную энергию магнита ротора и обмотки вращения через их взаимную проводимость. Для полной энергии системы «магнит ротора-обмотка вращения» имеем [3]

$$W = 0,5 L_X i_X^2 + G_{XP} w_{OB} i_X I_P - \left(G_P t g^{-1} \chi + G_P - G_{MC} \right) 0,5 I_P^2 + 0,5 G_P I_{P0}^2 t g^{-1} \chi, \quad (8)$$

где G_{XP} – взаимная проводимость магнита ротора и обмотки, G_P – собственная проводимость магнита ротора, G_{MC} – проводимость всей магнитной цепи, включая зазор, w_{OB} – число витков обмотки вращения, i_X – ток в обмотке вращения, I_P – полный поверхностный ток магнита ротора, I_{P0} – поверхностный ток магнита ротора при обесточенной обмотке, χ – коэффициент магнитной твердости (угол наклона прямой намагниченности), $t g \chi = \rho / \mu_o - 1$, ρ – коэффициент возврата.

Первый член в этом выражении представляет собой собственную энергию обмотки, второй – взаимную энергию магнита и обмотки, третий и четвертый члены – собственную энергию магнита с учетом проводимости всей магнитной цепи, включая воздушный зазор.

Выражение (8) является наиболее универсальным для описания состояния системы «магнит-обмотка», поскольку учитывает независимо два фактора, влияющих на ее состояние: наличие внешнего источника поля и естественное размагничивание под действием воздушного зазора. Это выражение может быть использовано для более глубокого исследования динамики электромеханических систем с учетом изменения состояния магнитной среды. Для некоторых же практических случаев построения электромеханических преобразователей процесс получения соотношений динамики взаимодействия магнита и обмотки с током может быть существенно упрощен. В частности, такое упрощение возможно при использовании для возбуждения потока высококоэрцитивных интерметаллических композиций $SmCo_5$ или $NdFeB$, которые в рабочем диапазоне на линии возврата практически не поддаются внешнему воздействию взаимодействующей с ним обмотки. Это означает, что полный поверхностный ток магнита, который должен быть принят в качестве независимой обобщенной электрической скорости при составлении энергетической функции, можно считать неизменным и равным поверхностному току магнита при обесточенной обмотке.

В соответствии с изложенным после дифференцирования (8) по обобщенной скорости (I_{P0}) останется лишь один член $G_{XP} \cdot w_{OB} \cdot I_{P0}$, который представляет собой взаимное потокоцепление ψ_X , создаваемое магнитом ротора в обмотке вращения. Опытным путем было установлено, что взаимное потокоцепление цилиндрического ротора и обмотки, расположенной в гладком концентричном магниту зазоре, изменяется в зависимости от угла поворота γ по гармоническому закону, т.е. $\psi_X = \psi_0 \sin \gamma$. Это означает, что и взаимная энергия магнита и обмотки в БМД в зависимости от их взаимного углового положения при постоянной величине I_{P0} изменяется по такому же гармоническому закону $W = \psi_0 i_X \sin \gamma$, где ψ_0 – потокоцепление при соосном расположении магнита ротора и обмотки вращения.

Введем обозначения:

$$i_P M_X = I_{P0} w_{OB} w_P G_{XP} = \Psi_X, \quad i_P M_Z = I_{P0} w_{OP} w_P G_{ZP} = \Psi_Z.$$

Заметим, что понятие «число витков» не имеет физического смысла применительно к постоянному магниту, поэтому мы вправе выбрать любое удобное их значение, в частности, $w_P = 1$.

Перед тем, как произвести соответствующие замены в (4)–(7), учтем следующие обстоятельства:

- постоянный магнит ротора для поддержания своего состояния не потребляет электро-энергию, т.е. $U_P = 0$;
- поверхностный ток магнита ротора постоянен во времени, и все члены при di_{P0}/dt обращаются в 0;

– поле обмоток не оказывает влияния на состояние постоянного магнита и не может возбудить в нем никаких ЭДС, поэтому уравнение электрического равновесия для ротора не имеет смысла.

В результате уравнения состояния БМД с единственной обмоткой управления, высококоэрцитивным постоянным магнитом ротора и дополнительной обмоткой статора с постоянным током будет иметь вид

$$J_Y \ddot{\gamma} - \Psi_X i_X \cos \gamma + \Psi_Z i_Z \sin \gamma + \dot{\gamma} v_Y = m_Y; \quad (9)$$

$$L_X di_X / dt + \Psi_X \dot{\gamma} \cos \gamma + i_X R_X = U_X; \quad (10)$$

$$-\Psi_Z \dot{\gamma} \sin \gamma + i_Z R_Z = U_Z. \quad (11)$$

Упростим систему уравнений (9)–(11), приняв условие отсутствия внешней нагрузки ротора ($m_Y=0$) и малую величину угла отклонения ротора ($\sin \gamma = \gamma$; $\cos \gamma = 1$). Тогда система (9)–(11) примет вид

$$J_Y \ddot{\gamma} + v_Y \dot{\gamma} + \Psi_Z i_Z \gamma = \Psi_X i_X; \quad (12)$$

$$L_X di_X / dt + \Psi_X \dot{\gamma} + i_X R_X = U_X; \quad (13)$$

$$-\Psi_Z \dot{\gamma} \gamma + i_Z R_Z = U_Z. \quad (14)$$

Для реализации принудительного возвратно-вращательного движения ротора в обмотке вращения должен быть возбужден переменный ток, изменяющийся по периодическому закону. При гармоническом законе изменения тока $i_X = i_X^0 \cos ft$ уравнение (12) по форме соответствует классическому уравнению вынужденных колебаний твердого тела [4], где $F(t) = \Psi_X i_X^0 \cos ft$ – периодическая возмущающая сила, сопряженная с координатой γ ; $\Psi_Z i_Z \gamma = C\gamma$ – момент упругости магнитной пружины; C – коэффициент упругости.

При нулевом значении возмущающей силы уравнение (12) преобразуется в уравнение затухающих колебаний. Разделив все его члены на J_Y , получим

$$\ddot{\gamma} + 2\delta \dot{\gamma} + f_0^2 \gamma = 0,$$

где $\delta = v_Y / 2J_Y$ – коэффициент затухания колебаний ротора; $f_0 = \sqrt{C / J_Y} = \sqrt{\Psi_Z i_Z / J_Y}$ – частота собственных колебаний системы при отсутствии трения.

В соответствии с общей теорией колебательных систем в случае $\delta < f_0$ ротор будет совершать затухающие колебания, амплитуда которых уменьшается по закону $\gamma = \gamma_0 \exp(-v_Y t / 2J_Y) \sin ft$, где γ_0 – начальный угол отклонения ротора.

Реакцией ротора на переменное воздействие обмотки будут установившиеся вынужденные колебания той же частоты $\gamma = \gamma^* \cos ft$, где γ^* – амплитуда вынужденных колебаний ротора

$$\gamma^* = \frac{\Psi_X i_X^0}{2I_Y \delta f}.$$

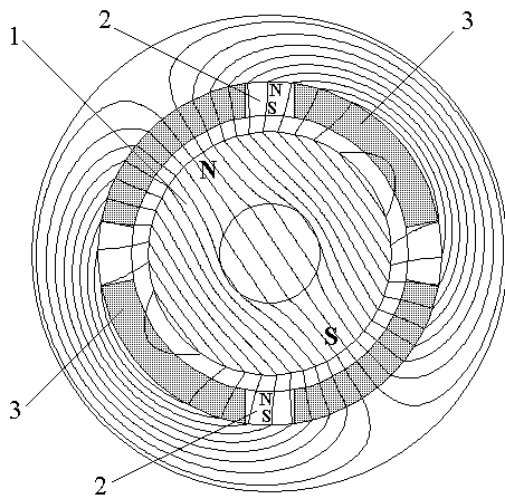


Рис.3

Чтобы решить систему уравнений (12)–(14) относительно переменной γ^* , необходимо определить ее коэффициенты. Для этого было проведено моделирование электромеханической системы, выполненное в пакетах FEMLAB 3.1i и MATLAB 6.5, при приведенных ниже габаритах двигателя и параметрах магнитного материала: магнит ротора – $\varnothing 14,6 \times 24$ мм; магнит статора – $3 \times 2,5 \times 20$ мм; односторонний воздушный зазор – 3,5 мм; материал магнитов – NdFeB ($B_r=1,1$ Тл; $\mu_m=1,04$; $\gamma_m=7,5$ г/см³); внешний диаметр магнитопровода – 26 мм; материал магнитопровода электротехническая сталь 2013; номинальный момент инерции ротора с насадкой – $J_Y=3,35 \cdot 10^{-6}$ кг·м²; амплитуда напряжения на выходе источника питания – 14 В.

Картина результирующего магнитного поля при включенных магнитах ротора и статора для случая

отклонения ротора на угол 45 градусов относительно положения устойчивого равновесия показана на рис. 3, где 1 – цилиндрический магнит ротора, 2 – призматические магниты статора, 3 – зеркально отраженные катушки электрообмотки.

Полученный при моделировании закон распределения радиальной составляющей индукции вдоль окружности в середине зазора при всех включенных магнитах системы показан на рис. 4: кривая 1 – при нахождении ротора в положении устойчивого равновесия, кривая 2 – при развороте ротора на 180 градусов. Промежуточные кривые распределения индукции соответствуют положениям ротора, разворачиваемого последовательно на 20 градусов от каждого предыдущего положения. Рис. 4 дает представление о характере искажения магнитного поля при повороте ротора под воздействием обмотки.

В результате решения системы уравнений (12)–(14) были получены моменты инерции привода и рабочих органов, а также коэффициент упругой магнитной связи системы, соответствующие резонансному режиму с требуемой частотой. Это позволило сформулировать технические требования к конструкции привода, позволяющие избежать возникновения резонанса при регулировании частоты, либо, напротив, обеспечить режим форсированных колебаний рабочего органа путем задания соответствующих параметров питающего напряжения. Крутизна частотных характеристик привода показана на рис. 5, где приведены зависимости амплитуды вынужденных колебаний ротора от частоты питающего напряжения обмотки при постоянстве его амплитуды: кривая 1 – при величине момента инерции роторной части $1,2J_y$, кривая 2 – при номинальном значении J_y , кривая 3 – при величине момента инерции $0,8J_y$. Резкое возрастание амплитуды в области 25...30 Гц соответствует области собственного резонанса системы.

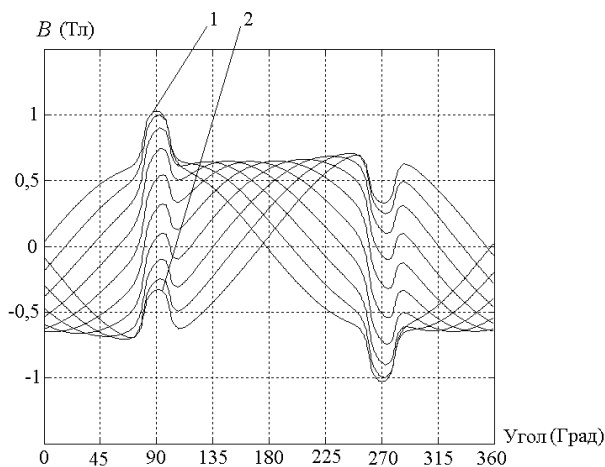


Рис.4

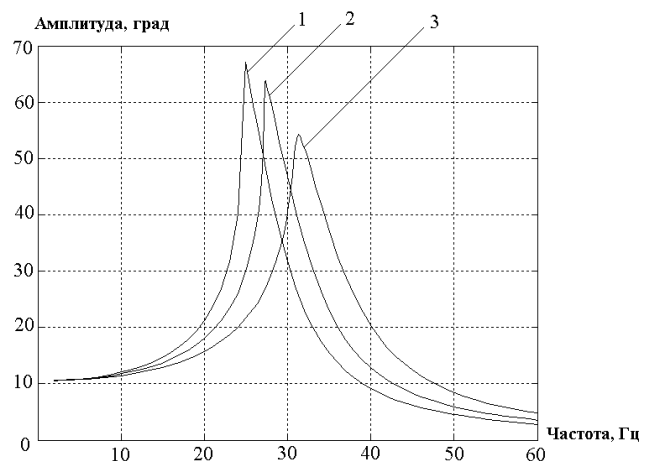


Рис.5

Этот результат моделирования практически полностью совпадает с резонансными характеристиками реального образца двигателя с приведенными выше параметрами, что подтверждает адекватность полученной модели двигателя (12)–(14).

Выводы. Результаты моделирования позволяют сказать, что конструктивное исполнение и характеристики применяемых материалов рабочих органов влияют на резонансную частоту и величину амплитуды резонанса. Увеличение момента инерции двигателя за счет пассивной нагрузки смещает резонанс в область низших частот, а его снижение повышает резонансную частоту.

Для конкретного исполнения машины математическая модель позволяет прогнозировать разброс резонансных частот при заданном наборе рабочих органов. Это влечет за собой предъявление к источнику питания особых технических требований.

Попадание области резонанса системы внутрь диапазона регулирования частоты колебаний рабочего органа может быть использовано для реализации форсирования режима инструмента без увеличения энергозатрат от источника питания. Если же явление возрастания амплитуды колебаний при резонансе является нежелательным (например, в медицинских инструментах при проведении лечебных процедур), то «опасный» частотный диапазон может быть программно запрещен.

1. Антонов А.Е. Электрические машины магнитоэлектрического типа. – К.: Институт электродинамики НАН Украины, 2011. – 216 с.
2. Барabanov В.А. Основные модели постоянного магнита в электромеханических системах / Препринт АН УССР. Ин-т электродинамики, № 222. – Киев, 1980. – 50 с.
3. Барabanov В.А. Энергия постоянного магнита // Техн. электродинамика. – 1989. – № 5. – С. 3–13.
4. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч.2. Динамика системы материальных точек. – М.-Л.: Главная редакция технико-теоретической литературы, 1937. – С. 41–60.
5. Сили С. Электромеханическое преобразование энергии. – М.: Энергия, 1968. – 376 с.

УДК 621.313.8

МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН ЗВОРОТНО-ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ З ПРУЖНИМ ЗВ'ЯЗКОМ РОТОРА

О.С. Антонов, докт.техн.наук, **Петухов І.С.**, канд.техн.наук, **Філоменко А.А.**,
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,
e-mail: petuhov@ied.org.ua

Розглянуто варіант побудови безконтактного магнітоелектричного двигуна з обмеженим кутом відхилення ротора. Структура двигуна містить постійний двополюсний магніт ротора, єдину обмотку управління, постійний магніт статора, вісь намагнічення якого ортогональна електричній вісі обмотки, і нерухомий магнітотопровід, що охоплює обмотку. Одержано математичну модель динамічного стану двигуна, моментні та динамічні характеристики двигуна. Бібл. 5, рис. 5.

Ключові слова: постійний магніт, безконтактний двигун магнітоелектричного типу, динамічний стан.

MAGNETOELECTRIC MOTOR RECIPROCATING ROTARY MOTION WITH ELASTIC COUPLING ROTOR

Antonov O.E., Petukhov I.S., Filomenko A.A.,
Institute of elektrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy pr., 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,
e-mail: petuhov@ied.org.ua

The variant of the construction of a brushless magnetolectric motor with limited deflection angle of the rotor was considered. The structure of the motor contains a permanent magnet of the rotor, single control winding, a permanent magnet stator. Orthogonal to the axis of the magnet stator windings of electrical axis. The mathematical model of the dynamic state of the motor torque and the dynamic characteristics of the engine. References 5, figures 5.

Key words: permanent magnet, magneto magnetolectric motor type, the dynamic state.

1. Antonov A.E. Electrical magnetolectric machinery. – Kyiv: Instytut elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy, 2011. – 216 p. (Rus)
2. Barabanov V.A. The basic model of the permanent magnet electro-mechanical systems / Preprint Akademii nauk Ukrainy. Institut Elektrodinamiki, № 222. – Kyiv, 1980. – 50 c. (Rus)
3. Barabanov V.A. Energy of permanent magnet // Tekhnicheskaja elektrodinamika. – 1989. – №5. – Pp. 3–13. (Rus)
4. Bukhholz N.N. The main course of theoretical mechanics. Part 2. The dynamics of the system of material points. – Moskva-Leningrad: Glavnaia redaktsiia tekhniko-teoreticheskoi literatury, 1937. – Pp. 41–60. (Rus)
5. Seely S. Electromechanical energy conversion. – Moskva: Energiia, 1968. – 376 c. (Rus)

Надійшла 13.04.2012

Received 13.04.2012