

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MAGNETOELECTRIC LINEAR ACTUATORS OF CONTROL SYSTEMS

Makhmudjon Muxamedovich Abdullayev

Rasul Ernazar ogli Abdiev

Follow this and additional works at: <https://ijctcm.researchcommons.org/journal>



Part of the [Complex Fluids Commons](#), [Controls and Control Theory Commons](#), [Industrial Technology Commons](#), and the [Process Control and Systems Commons](#)



UDC 621.313

**DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MAGNETOELECTRIC LINEAR ACTUATORS OF
CONTROL SYSTEMS (ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ)**

Makhmudjon Muxamedovich Abdullayev¹, Rasul Abdiyev Ernazar ogli²

¹Tashkent State Technical University. Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan.
E-mail: mm.abdullaev@yandex.ru, Phone: +998 90-187-01-73;

²Tashkent State Technical University. Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan.
E-mail: rasulabdiyev4084405@gmail.com, Phone: +998 90-825-44-05.

Annotation. This paper presents the results of studies carried out on magnetoelectric drives that carry out linear movement, models of drives are built and, on their basis, studies of the main indicators associated with the movement of a linear armature are carried out, such as: speed of movement, acceleration, current values, voltage and traction force of the armature. Also presented are the results of a study of magnetoelectric linear motion drives based on an analysis of graphs of their dynamic characteristics.

Keywords. Magnetoelectric drives, drive models, linear motion, speed, acceleration, traction force.

Annotatsiya. Ushbu maqolada chiziqli harakatni amalga oshiradigan magnitoelektrik yuritmalarini o'rganish natijalari, yuritmalarning modellari ishlab chiqilgan va ular asosida chiziqli harakat yakorining siljishi bilan bog'liq asosiy ko'rsatkichlari: harakat tezligi, tezlanish, tok kuchi, kuchlanish, yakorning tortish kuchi, uning aktiv va reaktiv qarshiliklari qiymatlarining o'zgarishi keltirilgan. Shuningdek, ularning dinamik xarakteristiklari grafiklarini tahlil qilish asosida magnitoelektrik chiziqli harakatlanuvchan ijro elementlarni o'rganish natijalari keltirilgan.

Tayanch so'zlar. Magnitoelektrik yuritma, yuritmalar modellari, chiziqli harakat, tezlik, tezlanish, tortish kuchi.

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований магнитоэлектрических приводов, осуществляющих линейное перемещение, разработаны модели приводов и на их основе исследованы такие основные показатели связанные с движением якоря линейного перемещения, как: скорость перемещения, ускорение, изменение значения тока, напряжения, тяговая сила якоря, его активное и реактивное сопротивление. Также представлены результаты исследований магнитоэлектрических исполнительных элементов линейного перемещения на основе анализа графиков их динамических характеристик.

Ключевые слова. Магнитоэлектрические приводы, модели приводов, линейное движение, скорость, ускорение, тяговая сила.

Введение. Линейные приводы широко используются в промышленности и применяются во многих современных технологиях, связанных с перемещением и обработкой материалов на конвейерах, с уплотнением, сортировкой и вибрационными процессами. Обычно для выполнения линейного движения используются роторные двигатели с подходящими механическими трансмиссиями, низкий КПД которых связан со значительными механическими потерями в передаточных устройствах, а надежность зависит от динамических перегрузок и процесса работы используемых в них асинхронных и синхронных двигателей. Преимуществами линейных приводов являются отсутствие механических передач, преобразующих вращательное движение в линейное, высокая надежность, низкий уровень шума, простота управления и контроля рабочего процесса. Для выполнения определенной технологической операции

магнитоэлектрические исполнительные элементы линейного движения должны обеспечить соответствие ее электромеханических характеристик требованиям рабочего процесса. В связи с этим исследование динамических характеристик магнитоэлектрических линейных исполнительных элементов систем управления является актуальной задачей, с точки зрения расширения сфер их применения.

Методы исследования и полученные результаты. Для улучшения специальных силовых показателей линейных магнитоэлектрических приводов, центральный вал, удерживающий их якоря, выполнен из парамагнитного материала, так как парамагнитный сердечник усиливает поток магнитного поля. Электромагнитная сила исполнительного элемента зависит от количества витков провода в якоре и величины тока, подаваемого на него, то – есть, чтобы намотать на якорь больше провода, необходимо уменьшить площадь поперечного сечения провода, а для увеличения силы тока необходимо увеличить площадь поперечного сечения провода. С целью выявления оптимальных параметров провода обмотки, скорости перемещения, ускорения и тяговой силы якоря привода разработан опытный образец магнитоэлектрического исполнительного элемента систем управления, конструктивная схема которого представлена в 3D формате на рис. 1.

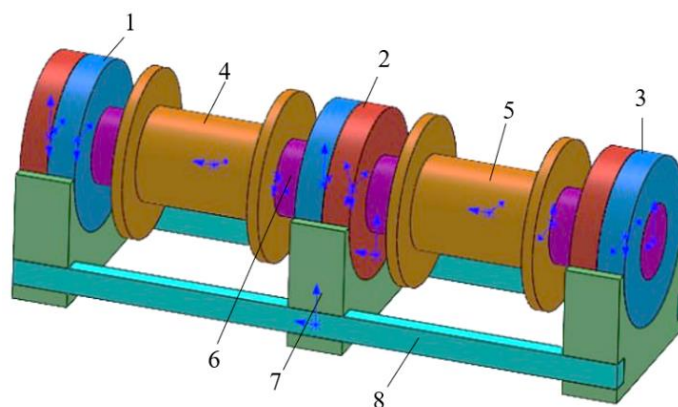


Рис. 1. Конструкция магнитоэлектрического линейного исполнительного элемент в 3D формате.

На рисунке приняты следующие обозначения: 1, 2 и 3 – двухполюсные постоянные магниты из материала NdFeB(N42), определяющие силу тяги для движения якорей под действием магнитного поля, 4 и 5- сердечники якорей исполнительного элемента, 6 - общая ось из парамагнитного материала, предназначена для обеспечения положения якорей вдоль центральной оси постоянных магнитов, 7 – крепление для постоянного магнита, 8 - основание из стали для крепления деталей исполнительного элемента.

На основе приведенных механических и электрических схем, и выражений для определения оптимальных параметров провода обмотки, рассчитаем ток, напряжение и мощность якоря, а также активное, реактивное и механическое сопротивление альтернативной электрической схемы и определим параметры соответствующих резисторов.

Основные конструктивные параметры исполнительного элемента приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные конструктивные параметры исполнительного элемента

№	Наименование	Ед.измерения
1	Длина исполнительного элемента	150 mm
2	Ширина исполнительного элемента	45 mm
3	Материал постоянного магнита	NdFeB(N42)
4	Индукция остаточного магнитного потока	1.3 T
5	Внешний диаметр постоянного магнита	45 mm
6	Внутренний диаметр постоянного магнита	20 mm

7	Толщина постоянного магнита	7 mm
8	Длина анкера	40 mm
9	Внешний диаметр анкера	45 mm
10	Внутренний диаметр анкера	20 mm
11	Количество витков проволоки в якоре	3180
12	Диаметр сечения намотанной проволоки	Ø 0.4 mm

Масса колеблющейся части $m_y = 1$ kg, коэффициент вязкости (трения) $\lambda_{ya1} = \lambda_{sh} = 5$ kg / sm, коэффициент электромагнитной силы в якоре линейного исполнительного элемента $K_{fv} = K_{ev} = 0.0004$, $R_{ya1} = 13$ Ом, $L(x) = 0,05$ Н.

Экспериментальное исследование технических характеристик движения линейных магнитоэлектрических исполнительных элементов, подбор параметров источника для их питания в зависимости от параметров нагрузки проводились по принципиальной схеме, представленной на рис. 2.

Регистрация значений напряжений U_1 , U_2 и токов I_1 , I_2 магнитоэлектрических линейных исполнительных элементов осуществляется с помощью датчиков, информация из которых передается в блок управления. Исполнительный элемент снабжен инверторами - устройствами для питания якорей источником переменного тока, который распределяет энергию от источника и передает ее якорям в соответствии с сигналами, поступающими от блока управления. Скорость движения V и тяговое усилие F на валу линейного исполнительного элемента определяются специальными датчиками и передаются в блок управления, что позволяет управлять необходимой скоростью и мощностью от исполнительного элемента путем изменения напряжения и частоты тока, подаваемого на якоря.

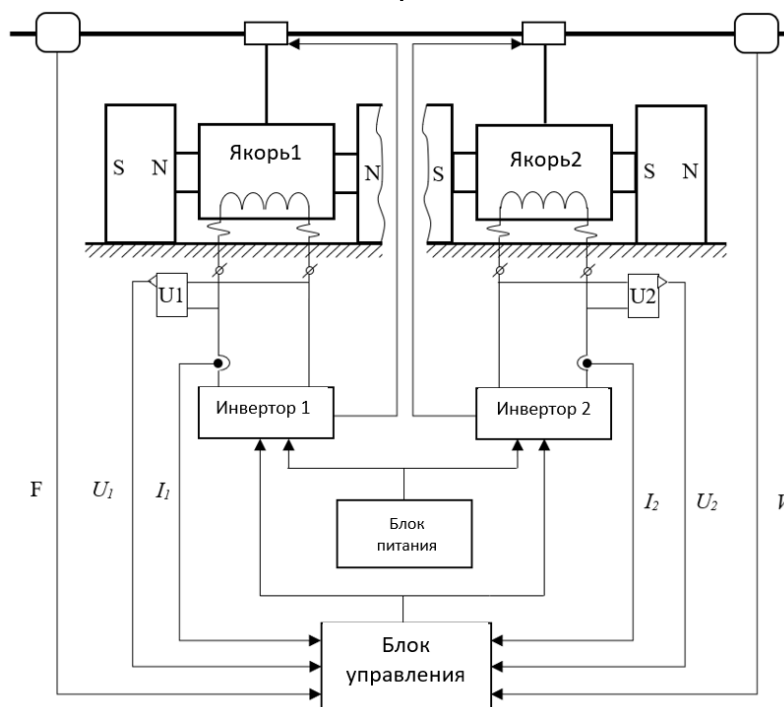


Рис. 2. Принципиальная схема исследования характеристик управления линейными магнитоэлектрическими исполнительными элементами.

На рис.3. приведена модель магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента для определения силы тока - I , напряжения - U и частоты сети - F ; модель построена на базе программного комплекса MATLAB Simulink.

Источник питания передает переменный ток, преобразованный в импульсную форму в специальных преобразователях частоты, на катушку якоря магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента. Функция преобразователей частоты заключается в передаче

электрической энергии на катушки якоря по принципу работы линейного исполнительного элемента, режимы работы которого разделены на параллельный и последовательный. В режиме параллельной работы на якоря передается одна и та же частота, с разницей фаз 180 градусов, а в режиме последовательной работы, скорость вала определяется в соответствии с значением частоты, подаваемой на якорь, что позволяет регулировать его скорость.

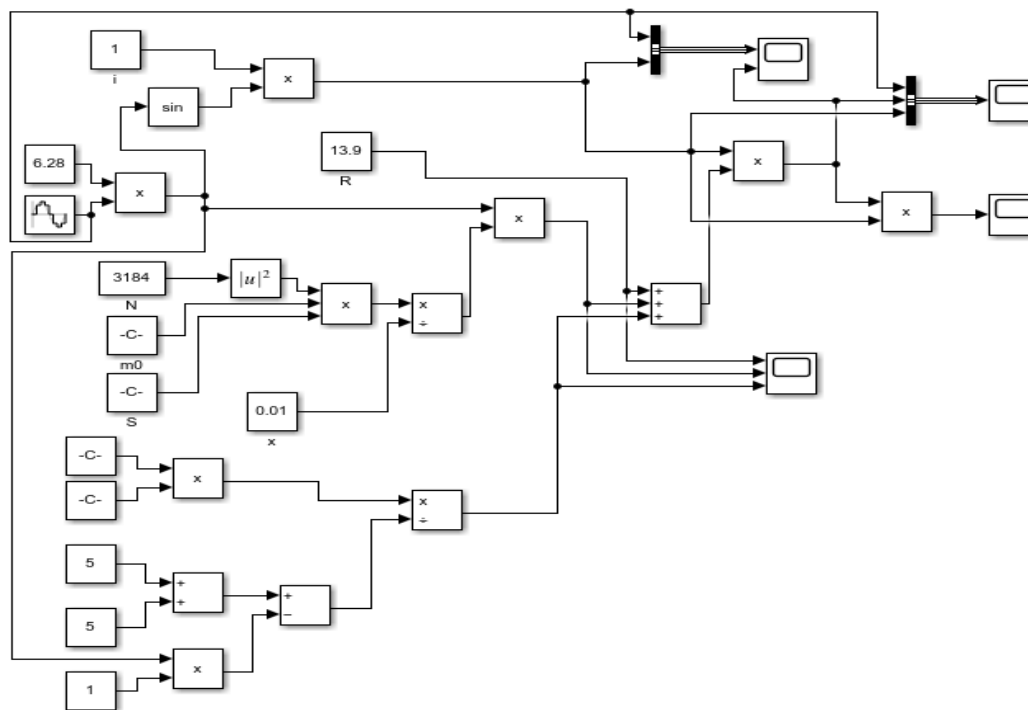


Рис. 3. Модель магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента для определения силы тока - I , напряжения - U и частоты сети - f , подаваемых в цепь питания якоря магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента.

Изменением значения тока (напряжения) имеется возможность увеличения или уменьшения силы тяги на основе представленных схем включения. Графики, изображающие характеристики тока якоря, а также передаваемого на него напряжения в зависимости от частоты, представлены на рис.4.

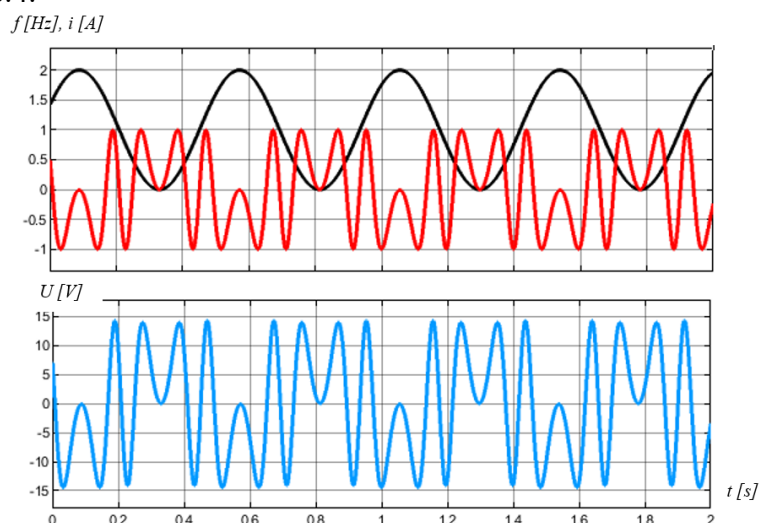


Рис. 4. Графики, представляющие силу тока - I , напряжение - U и частоту сети - f , подаваемых в цепь питания якоря магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента.

Совмещенные графики, силы тока - I , напряжения - U и частоты сети - f , подаваемых в цепь питания якоря магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента, представлены на рис. 5.

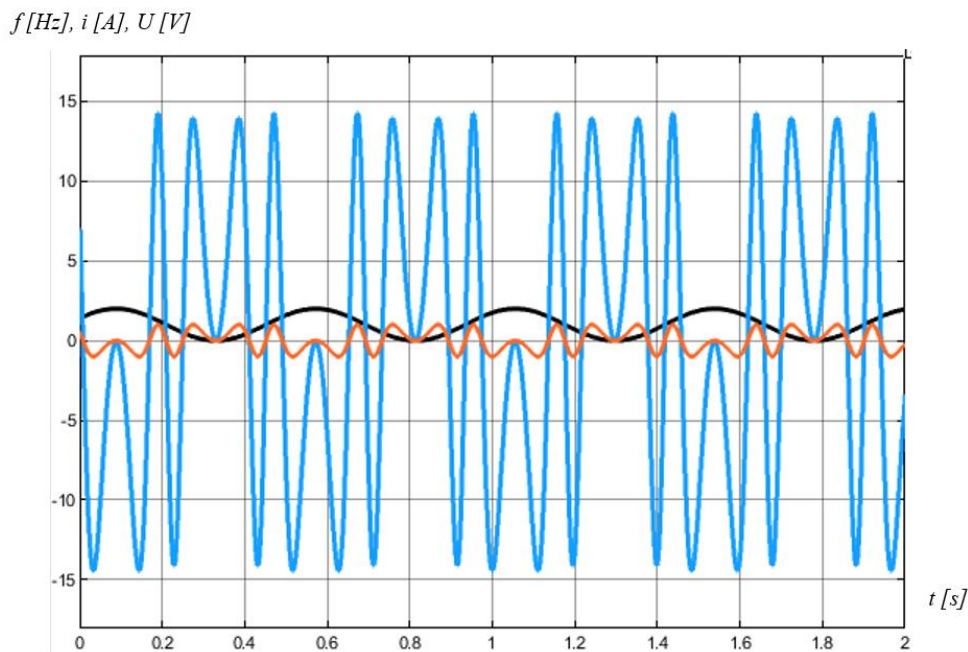


Рис. 5. Совмещенные графики силы тока - I , напряжение - U и частоты сети - f , подаваемых в цепь питания якоря магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента.

Исходя из принципа работы одного из якорей, чтобы вычислить потребляемую мощность одного якоря через параметры магнитоэлектрического линейного привода и приведенных предыдущем параграфе формул, можно определить величину и диаграмму выходной мощности на основе принципа действия одного из якорей. Для двух же якорей исполнительного элемента потребляемая суммарная мощность вычисляется путем двукратного увеличения потребляемой мощности одного якоря (рис. 6).

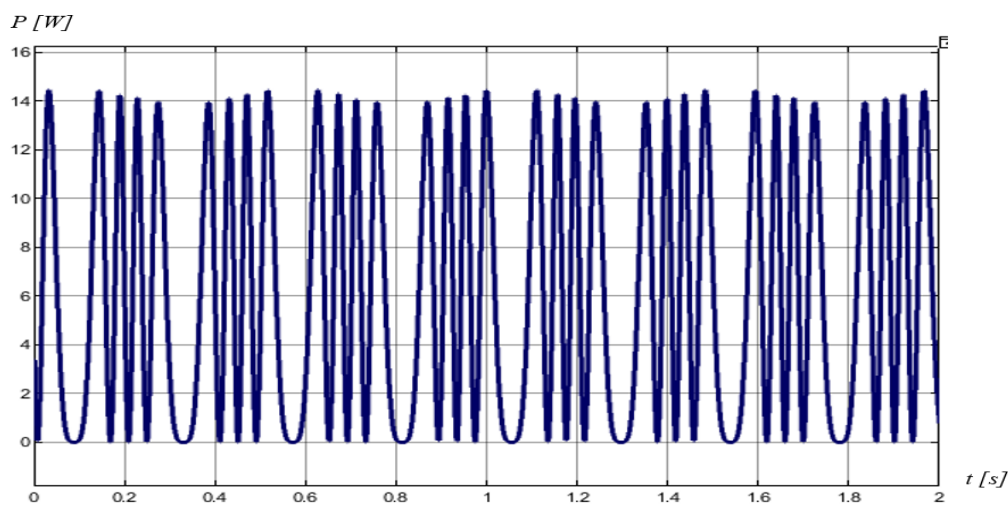


Рис. 6. График изменения мощности - P , подаваемой в цепь якоря магнитоэлектрического линейного привода.

Активные индуктивные сопротивления в цепи якоря и механические сопротивления при запуске якоря показаны на графиках, представленных на рис. 7.

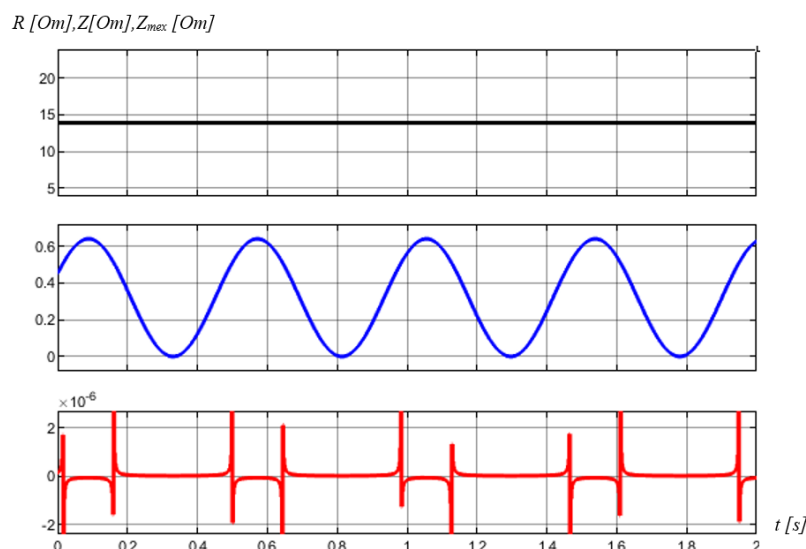


Рис. 7. Графики, представляющие активное - R , реактивное - Z и механическое - $Z_{\text{мех}}$ сопротивления цепи якоря.

Для исследования динамических параметров исполнительного элемента на основе MATLAB Simulink разработана модель магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента, которая представлена на рис. 8.

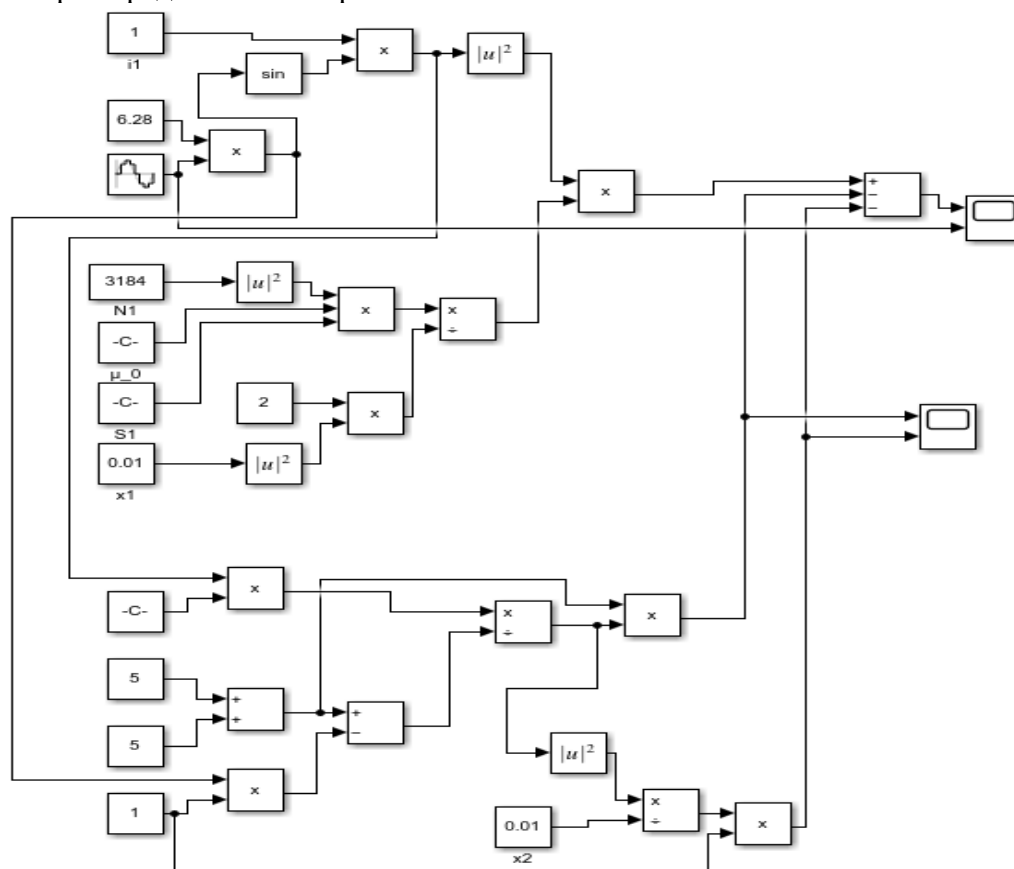


Рис. 8. Модель магнитоэлектрического линейного исполнительного элемента для определения тяговой силы якоря - F и частоты сети - f .

Электромагнитная сила тяги, создаваемая якорем исполнительного механизма, изменяется пропорционально силе тока, подаваемого на его катушку. В зависимости от площади поперечного сечения провода, количества витков провода в катушке и тока, протекающего через

него, можно управлять силой тяги якоря. Подбирая оптимальное сочетание этих параметров, достигают наибольшей эффективности работы магнитоэлектрического исполнительного элемента.

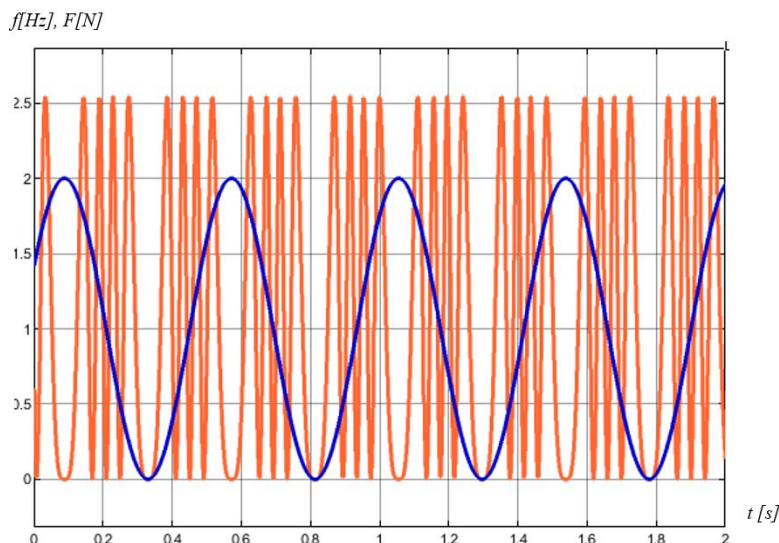


Рис. 9. Графики, представляющие тяговую силу якоря - F , и частоту сети - f .

На графике, представленном на рис. 9, отражены изменения силы тяги, создаваемой якорем, в зависимости от времени и частоты силы тока, подаваемого на якорь исполнительного элемента.

Заключение

Исследования динамических характеристик магнитоэлектрического привода линейного движения показали, что электромагнитная сила тяги, создаваемая якорем исполнительного механизма, изменяется пропорционально силе тока, подаваемого на его катушку. Управляя силой тяги якоря, можно обеспечить наибольшую эффективность работы магнитоэлектрического исполнительного элемента, что достигается за счет подбора оптимального сочетания расстояния между якорем и постоянными магнитами привода, а также таких параметров обмотки якоря, как количество витков, диаметр провода и длина катушки.

References

1. Abdullaev, M.M., Nazarov, X.N., Yusupov, B.B., Abdiev, R.E. (2022). *Magnitoelektricheskij linejnyj dvigatel' [Magnetolectric linear motor]*. Foydali modelga patent. O'zR Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. FAP 2022 00 15. UZ FAP 02125. (in Russian).
2. Abdullaev, M.M., Abdiev, R.E., Yusupov, B.B. (2022). *Mnogovy'xodnyj magnitoelektricheskij linejnyj dvigatel' [Multi-output magnetolectric linear motor]*. Foydali modelga patent. O'zR Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. № FAP 2022 04 37. UZ FAP 02326. (in Russian).
3. Abdullaev, M.M., Abdiev, R.E. (2022). Mexatron modular va robotlarda qo'laniladigan chiziqli harakat ijro elementlarini modellashtrish va taxlil qilish. *Research Focus*. 1(2). 165-171.
4. Nazarov, H.N., Abdullaev, M.M., Rakhimov, N.O., Otamuratov, S.S. (2019). Mathematical Description of the Construction Principles of Electromagnetic Mechatronic Modules of Intelligent Robots. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 9(2), 1001-1005.
5. Bae, J.-H., Hwang, S.-J., Moon, I. (2019). Evaluation and verification of a novel wrist rehabilitation robot employing safety-related mechanism. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*. 8779511, 288-295.
6. Zeng, C., Chen, L. (2018). A flexible collision mitigation method for the space robot dual-arm capture satellite. *Zhongguo Guanxing Jishu Xuebao/Journal of Chinese Inertial Technology*. 28(4), 543-550.
7. Ai, H.-P., Chen, L. (2020). Collision avoidance and compliant composite active disturbance rejection control of space robot capture spacecraft. *Kongzhi yu Juece/Control and Decision*. 36(2), 355-362.
8. Tatevasyan, A.A. (2004). Raschet parametrov optimal'ny'x konstrukcij magnitny'x sistem magnitoelektricheskogo privoda po ispy'taniyu vyazkouprugix svoystv e'lastomerov [Calculation of parameters of optimal designs of magnetic drive by testing of viscoelastic properties of elastomers].

- systems of a magnetoelectric drive for testing the viscoelastic properties of elastomers]. *Zhurnal E`lektrotexnika, Omskij nauchny`j vestnik*. 2, 108-113. (in Russian).
9. Vaganov, M.A., Matyuxov, V.F. (1991). O raschete mikrodvigatelej postoyannogo toka s kol`cevy`mi postoyanny`mi magnitami [On the calculation of DC micromotors with ring permanent magnets]. *Leningr. E`lektrotextn. In-t.*, 439, 92-96. (in Russian).
 10. Amirov, S.F., Rustamov, D.Sh. (2020). Dinamicheskie xarakteristiki magnitomodulyacionny`x preobrazovatelej [Dynamic characteristics of magnetic modulation converters]. *Zhurnal Texnicheskie nauki*. 2, 91-94. (in Russian).
 11. Schmid, H. (1994). Multiferroic magnetoelectrics. *Ferroelectrics*. 162. 317-338.
 12. Smolenskij, G.A., Chupis, I. E. (1982). Segnetomagnetiki [Ferromagnets]. *UFN*. 137, 415-448. (in Russian).
 13. Venevcev, Yu.N., Gagulin, V.V., Lyubimov, V.N. (1982). *Segnetomagnetiki [Ferromagnets]*. Moskva: Nauka, 224 p. (in Russian).
 14. Landau, L.D., Lifshicz, E.M. (1992). *E`lektrodinamika sploshny`x sred [Electrodynamics of continuous media]*. Moskva: Nauka, 624 p. (in Russian).
 15. <https://miastoprzyszlosci.com.pl/index.php/mp/article/view/100>
 16. <https://carscomfort.ru/dvigatel/linejnye-magnitoelektricheskie-dvigateli.html>.
 17. <https://patents.google.com> > patent. WO2014074008A1 - Magnitoelektricheskiy dvigatel.