

ТЯГОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУПЕРМАГНИТНОГО КОМПЕНСАТОРА ЖЕСТКОСТИ

Резниченкина А.Д., Гурова Е.Г.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
Новосибирск, e-mail: nauka_fma@mail.ru

Настоящая статья посвящена описанию силовой характеристики компенсатора жесткости на основе супермагнитов при помощи полинома нечетной степени. Магнитный компенсатор жесткости подключается параллельно упругому элементу, закрепленному между вибрирующим и защищаемым основаниями. Разрабатываемый магнитный компенсатор представляет из себя два диска. Неодимовые магниты расположены на нижнем и верхнем дисках в отверстиях, а также на обеих сторонах якоря, образуя тем самым компенсатор жесткости с падающей силовой характеристикой. При различных составляющих полинома можно получить любую жесткость характеристики компенсатора. Представлен расчет постоянных коэффициентов полинома для математического описания корректора. Для представления характеристики компенсатора в структурных схемах системах автоматического управления виброизолирующих устройств с компенсаторами жесткости в работе получен коэффициент гармонической линеаризации для полинома n -й степени.

Ключевые слова: полином, супермагнитный компенсатор жесткости, вибрация, виброизоляция

DEVELOPMENT OF MODELS OF VIBRATION ISOLATIONS WITH THE SUPERMAGNETIC COMPENSATOR RIGIDITY

Reznichenkina A.D., Gurova E.G.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: nauka_fma@mail.ru

This research presents the traction characteristic of the rigidity compensator based supermagnets using the odd polynomial. Magnetic compensator rigidity resilient element is connected in parallel secured between vibrating and protects the basis. The developed magnetic compensator represents a two drives. Neodymium magnets were located at the lower and upper discs in the holes and on both sides of the anchor, thereby forming a compensator rigidity falling power characteristic. Due to the various components of the polynomial we can get any rigidity characteristic of compensator. The account of the constant coefficients of the polynomial for the mathematical description of the corrector. For representation the characteristics of the compensator in the structural scheme of system of automatic control of vibration isolation devices compensators rigidity received in the coefficients of harmonic polynomial linearization for the n -th degree.

Keywords: polynomial, supermagnetic rigidity compensator, vibration, vibration isolator

На сегодняшний день одной из существенных проблем во многих отраслях промышленности и на транспорте является проблема вибрации. Вибрационные колебания оказывают негативное влияние на работоспособность транспортных средств, окружающую среду и человека, который находится в зоне вибрационного воздействия. В связи с этим органами государственного и общественного надзора вводятся нормы допустимых значений (уровней) вибраций, которые реализуются в виде государственных стандартов, строительных норм и правил, стандартов предприятий и т.д.

На данный момент применяют множество методик и способов защиты от вибрации с применением амортизаторов, динамических гасителей колебаний, динамического уравновешивания двигателей, активных виброзащитных систем и т.д. Наиболее перспективным методом снижения уровней вибрации следует считать применение виброизолирующих устройств с плавающим участком нулевой жесткости [6]. Научными коллективами разработаны виброизоляторы на основе гидравлического, пневматического компенсаторов жесткости, механических корректоров

различных конструкций (нелинейный профиль, с призматическими ножами), однако вышеперечисленные устройства не полностью отвечают требованиям виброизоляции, имеют силы вязкого и сухого трения, дополнительные силы инерции. Наиболее эффективным из существующих следует считать виброизолятор на основе электромагнитного компенсатора жесткости [1, 2]. В научной работе итоговой целью является разработка виброизолирующего устройства с корректором жесткости на основе неодимовых магнитов. В [4] представлена конструкция предлагаемого виброизолятора с супермагнитным компенсатором жесткости. Такой компенсатор жесткости на основе неодимовых магнитов наиболее эффективен, так как он наиболее полно отвечает требованиям идеальной виброизоляции как при постоянных по величине, так и при произвольно меняющихся нагрузках.

Результаты исследования и их обсуждение

В [4, 3, 5, 8] представлена конструкция и приведено математическое описание силовых характеристик виброизолятора

с супермагнитным компенсатором жесткости. Магнитный компенсатор жесткости подключен параллельно упругому элементу, закрепленному при помощи дюралиевых оснований, между вибрирующим и защищаемым основаниями. Магнитный компенсатор представляет из себя два диска, один из которых жестко закреплен на вибрирующем основании через дюралиевую стойку, другой диск закреплен на вибрирующем основании при помощи неметаллических стоек. Шток жестко связан с защищаемым объектом. Неодимовые магниты расположены на нижнем и верхнем дисках в отверстиях, а также на обеих сторонах якоря, образуя тем самым компенсатор жесткости с падающей силовой характеристикой. При включении такого компенсатора параллельно упругому элементу, имеющему положительный коэффициент жесткости, можно получить любую желаемую жесткость виброизолирующего устройства. Характеристика компенсатора нелинейна, ее вид показан на рис. 1.

При использовании в виброизолирующих устройствах нелинейных компенсаторов исследование их свойств следует осуществлять с использованием методов анализа нелинейных систем. Наиболее удобным является метод гармонической линеаризации нелинейностей (метод гармонического баланса), позволяющий представить нелинейности в колебательных режимах в виде линеаризованных звеньев.

На основе математического описания [1] представлена структурная схема виброизолирующей подвески, содержащей линейный упругий элемент и параллельный ему нелинейный компенсатор жесткости. Для однозначной нелинейности достаточно определить один коэффициент гармонической линеаризации [7]. В предположении,

$$q = \frac{1}{\pi \cdot a} \cdot \int_0^{\pi} (A_n \cdot a^{2n-1} \cdot \sin^{2n} \omega t + \dots + A_3 \cdot a^5 \cdot \sin^6 \omega t + A_2 \cdot a^3 \cdot \sin^4 \omega t + A_1 \cdot a \cdot \sin^2 \omega t) \cdot d\omega t. \quad (3)$$

При вычислении (3) получим выражение коэффициента гармонической линеаризации компенсатора:

$$q = \frac{5 \cdot A_{n-1} \cdot a^n}{16} + \dots + \frac{3 \cdot A_2 \cdot a^2}{8} + \frac{A_1}{2}. \quad (4)$$

Произвольные постоянные $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ можем определить, составив систему из n -го количества уравнений:

$$\begin{cases} A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_1^3 + A_3 \cdot x_1^5 + \dots + A_n \cdot x_1^{2n-1} = y_1; \\ A_1 \cdot x_2 + A_2 \cdot x_2^3 + A_3 \cdot x_2^5 + \dots + A_n \cdot x_2^{2n-1} = y_2; \\ \cdot \\ \cdot \\ A_1 \cdot x_n + A_2 \cdot x_n^3 + A_3 \cdot x_n^5 + \dots + A_n \cdot x_n^{2n-1} = y_n. \end{cases} \quad (5)$$

что на вход нелинейности подаётся гармоническое воздействие $x = a \cdot \sin \omega t$, этот коэффициент определится как

$$q = \frac{1}{\pi \cdot a} \cdot \int_0^{\pi} F(a \cdot \sin \omega t) \cdot \sin \omega t d\omega t, \quad (1)$$

где F – уравнение силовой характеристики компенсатора.

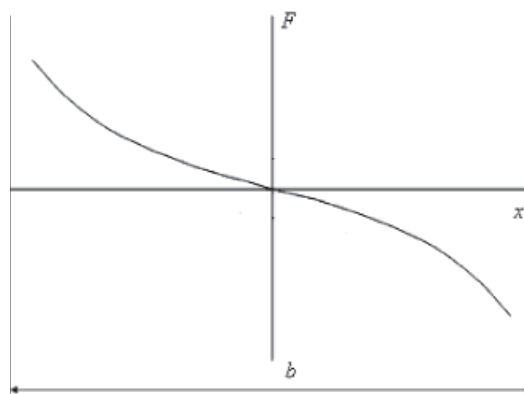


Рис. 1. Тяговая характеристика супермагнитного компенсатора жесткости

Тяговую характеристику нелинейного компенсатора, показанную на рис. 1, можно описать более простым полиномом нечетной степени:

$$F(x) = A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^3 + A_3 \cdot x^5 + \dots + A_n \cdot x^{2n-1}, \quad (2)$$

где $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – произвольные постоянные.

Полином нечетной степени (2) учитывает наклон силовой характеристики, а также конструктивные свойства самого компенсатора, учет разных составляющих полинома позволяет получить желаемую жесткость компенсатора, как представлено на рис. 2.

Выражение (1) при подстановке уравнения (2) будет иметь вид

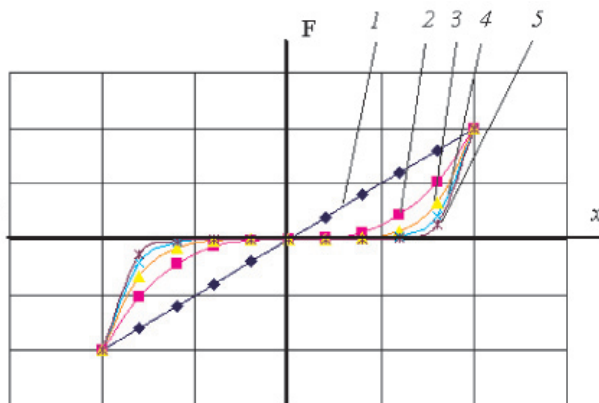


Рис. 2. Силовые характеристики компенсатора жесткости

Решив систему уравнений (5), можем получить необходимые произвольные постоянные $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ и вычислить коэффициент гармонической линеаризации нелинейного компенсатора жесткости для представления в структурных схемах виброизолирующих устройств с компенсаторами жесткости.

При описании силовой характеристики супермагнитного компенсатора жесткости необходимо учитывать жесткость и свойства корректора, которые можно описать при помощи полинома n -й степени. При различных составляющих полинома можно получить любую жесткость характеристики. Для представления характеристики в системах автоматического управления в работе получен коэффициент гармонической линеаризации для полинома n -й степени.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых, приказ Министерства образования и науки РФ № 184 от 10 марта 2015 года.

Список литературы

1. Гурова Е.Г. Виброизолирующая подвеска судовой энергетической установки с нелинейным электромагнитным компенсатором жесткости: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2008. – 22 с.
2. Гурова Е.Г. Виброизолирующие подвески транспортных энергетических установок с нелинейными электромагнитными компенсаторами жесткости. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 156 с.
3. Гурова Е.Г. К применению супермагнитов в устройствах виброзащиты подвижного состава // Известия Транссиба. – Омск, 2013. – С. 30–34.
4. Гурова Е.Г. Устройство виброизолирующее с компенсатором жесткости на основе неодимовых магнитов / Е.Г. Гурова, М.Г. Гуров // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сб. тр. 5 междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 22–23 мая 2014 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Т. 2. – С. 280–283.
5. Гурова Е.Г. Представление силовой характеристики трехосного виброизолятора с супермагнитным компенсатором жесткости / Е.Г. Гурова, М.Г. Гуров // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 1–2. – С. 194–195.
6. Зуев А.К. Некоторые вопросы теории виброизоляции / А.К. Зуев, В.Ю. Гросс // Вопросы автоматизации производственных процессов с использованием силовых

импульсных систем: межвузовский: сб. науч. тр. / Новосибир. электротехн. ин-т. – Новосибирск, 1984. – С. 68–75.

7. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: учеб. пособие; под общ. ред. Р.Т. Янушевского, Д.С. Фурманова. – М., 1988. – 256 с.

8. Gurova E.G. Vibro isolator with neodymium magnets compensator of the stiffness / E.G. Gurova, M.G. Gurov // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682: Innovative Technologies and Economics in Engineering. – P. 118–121.

References

1. Gurova E.G. Vibrozolirujushhaja podveska sudovoj energeticheskoj ustanovki s nelinejnym jelektromagnitnym kompensatorom zhestkosti: avtoreferat dis. ... kand. tehn. nauk. Novosibirsk, 2008. 22 p.
2. Gurova E.G. Vibrozolirujushhie podveski transportnyh energeticheskikh ustanovok s nelinejnymi jelektromagnitnymi kompensatorami zhestkosti. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2012. 156 p.
3. Gurova E.G. K primeneniju supermagnitov v ustrojstvah vibrozashhity podvizhnogo sostava // Izvestija Transsiba. Omsk, 2013. pp. 30–34.
4. Gurova E.G. Ustrojstvo vibrozolirujushhee s kompensatorom zhestkosti na osnove neodimovyh magnitov / E.G. Gurova, M.G. Gurov // Innovacionnye tehnologii i jekonomika v mashinostroenii: sb. tr. 5 mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Jurga, 22–23 maja 2014 g. Tomsk: Izd-vo TPU, 2014. T. 2. pp. 280–283.
5. Gurova E.G. Predstavlenie silovoj harakteristiki trehosnogo vibrozoljatora s supermagnitnym kompensatorom zhestkosti / E.G. Gurova, M.G. Gurov // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka. 2014. no. 1–2. pp. 194–195.
6. Zuev A.K. Nekotorye voprosy teorii vibrozoljacji / A.K. Zuev, V.Ju. Gross // Voprosy avtomatizacii proizvodstvennyh processov s ispolzovaniem silovyh impulsnyh sistem: mezhvuzovskij: sb. nauch. tr. / Novosib. jelektrotehn. in-t. Novosibirsk, 1984. pp. 68–75.
7. Popov E.P. Teorija nelinejnyh sistem avtomaticheskogo regulirovanija i upravlenija: ucheb. posobie; pod obshh. red. R.T. Janushevskogo, D.S. Furmanova. M., 1988. 256 p.
8. Gurova E.G. Vibro isolator with neodymium magnets compensator of the stiffness / E.G. Gurova, M.G. Gurov // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 682: Innovative Technologies and Economics in Engineering. pp. 118–121.

Рецензенты:

Темлякова З.С., д.т.н., профессор кафедры электромеханики, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск;

Щуров Н.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехнических комплексов, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск.