

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ НАСТРОЙКИ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН НА РЕЗОНАНСНЫЙ РЕЖИМ

Г.Я. Пановко^{1,2}

gpanovko@yandex.ru

А.Е. Шохин¹

shohinsn@mail.ru

С.А. Еремейкин¹

eremeykins@gmail.com

¹ Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, Москва,
Российская Федерация

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены вопросы стабилизации резонансных режимов колебаний механических систем, возбуждаемых неуравновешенными роторами электродвигателей асинхронного типа, на основе построения «динамического портрета» системы. Предложен численный алгоритм управления частотой возбуждения при изменении массы системы, основанный на измерении сдвига фазы между колебаниями системы и возмущающей силой. Приведены результаты численного моделирования процесса настройки на резонансный режим колебаний при медленном изменении массы системы

Ключевые слова

Механическая система, колебания, резонанс, асинхронный электродвигатель, ограниченная мощность, моделирование, управление

Поступила в редакцию 14.03.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Работа выполнена за счет гранта РНФ № 151930026

Введение. Одним из путей повышения эффективности технологических машин вибрационного принципа действия является использование резонансных режимов при вибрационной обработке материалов или сред (технологической нагрузки) [1, 2]. Однако в ряде случаев возникает проблема обеспечения устойчивости резонансного режима колебаний, связанная с неопределенностью изменения массы технологической нагрузки или параметров колебательной системы, нелинейным характером взаимодействия рабочего органа с обрабатываемой средой и/или особенностями взаимодействия вибровозбудителя колебаний с механической системой вибромашины [1–6].

Постановка задачи. Объектом исследования являются вибрационные технологические машины, расчетные схемы которых могут быть сведены к плоской одномассовой механической системе (рис. 1). Для возбуждения однонаправленных вертикальных колебаний используются два дебалансных вибровозбудителя, установленные на абсолютно жесткой платформе симметрично относительно ее центра масс и вращающиеся в противоположных направлениях. Вибровозбудители выполнены на основе электродвигателей асинхронного типа с заданной неуравновешенностью роторов. Движение системы рассматривается в поле силы

тяжести относительно неподвижной системы координат yOx , начало которой связано с исходным положением центра масс платформы в деформированном состоянии. Полное движение системы описывается пятью обобщенными координатами: линейными перемещениями центра масс платформы в направлении осей Oy и Ox , углом поворота платформы φ и углами поворота роторов электродвигателей φ_1 и φ_2 [1, 7]. Движущий момент, развиваемый s -м электродвигателем, записывается с учетом связи между потокосцеплениями и токами для всех фаз s -го ротора [8, 9].

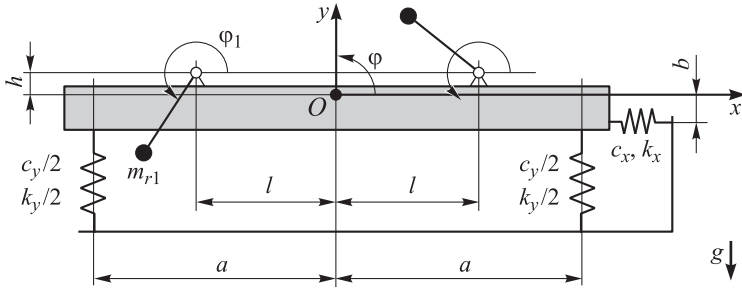


Рис. 1. Расчетная схема системы

В настоящей работе описывается один из возможных алгоритмов программного управления частотой вращения роторов, обеспечивающий автоматическое поддержание резонансных вертикальных колебаний (вдоль оси Oy) при медленном неопределенном изменении массы системы (массы технологической нагрузки), который реализуется при синхронном противофазном вращении роторов в противоположных направлениях [1, 4].

В качестве контролируемого параметра принимается сдвиг фазы ε между вертикальным перемещением платформы и вертикальной составляющей возмущающей силы. Условие резонансной настройки записывается в виде $(\pi/2 - \delta_\varepsilon) < \varepsilon < \pi/2$, где δ_ε — наперед заданная точность настройки на около-резонансный режим. Измеряемыми параметрами являются угловое положение роторов, которое определяет закон изменения возмущающей силы, и перемещение $y(t)$ платформы (t — текущее время). В качестве управляющего параметра принята частота напряжения ω_e , подаваемого на электродвигатели через частотный преобразователь, что позволяет регулировать скорость вращения роторов ω в широких пределах.

Алгоритм настройки на резонансный режим. Алгоритм управления основан на измерении текущего состояния системы (с помощью датчиков перемещения платформы и углов поворота роторов) и вычислении в блоке управления текущего сдвига фазы. В пространстве параметров $\{\varepsilon, \Omega, \omega_e\}$ на основе решения уравнений движения системы строится поверхность (так называемый динамический портрет), каждая точка которой соответствует возможному динамическому состоянию системы (см. рис. 2, где ось $\tilde{\Omega} = \Omega/\Omega_0$, ось $\tilde{\omega}_e = \omega_e/\Omega_0$, $\Omega_0 = 100\pi$ рад/с — масштаб частоты).

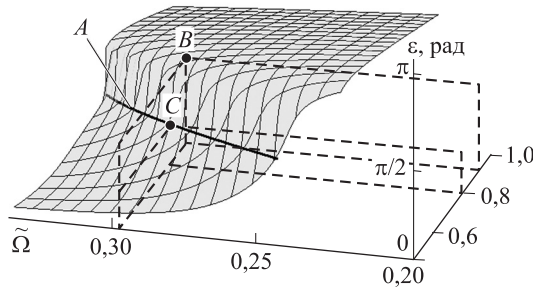


Рис. 2. Динамический портрет системы

Линия A на рис. 2 отображает совокупность параметров системы, соответствующих сдвигу фазы $\varepsilon = \pi/2$, при которых возникают резонансные колебания. При заданной частоте ω_e^* питающего напряжения и по измеренному сдвигу фазы ε^* в блоке управления с использованием динамического портрета вычисляется собственная частота ω^* , соответствующая текущему состоянию системы (точка B , см. рис. 2), и определяется частота питающего напряжения ω_n^{**} , при которой сдвиг фазы $\varepsilon = \pi/2$ (точка C , см. рис. 2). Блок управления генерирует сигнал, соответствующий частоте питающего напряжения ω_n^{**} , который поступает на частотный преобразователь, задающий скорость вращения роторов двигателей.

При численном моделировании, выполненном в математическом пакете Wolfram Mathematica, первоначально задавалась произвольная скорость вращения роторов, при которой возбуждались однонаправленные колебания платформы на дорезонансной (или зарезонансной) частоте. После установления колебаний программное управление автоматически выводило колебания системы на резонансный режим. Значения массово-геометрических параметров системы задавались в соответствии с параметрами экспериментальной установки, описанной в работе [10].

На рис. 3 приведен график колебаний платформы в процессе автоматической настройки на резонансный режим колебаний из первоначально заданного зарезонансного режима. Видно, что примерно до 5 с система совершала установившиеся колебания в зарезонансной области. В соответствии с заданным алго-

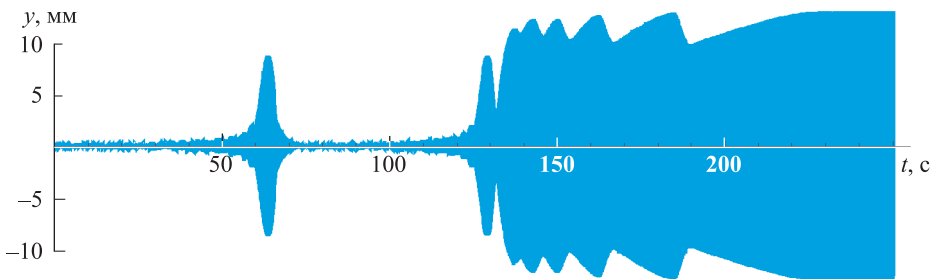


Рис. 3. Колебания системы при настройке на резонансный режим

ритмом система управления сначала перевела колебания платформы в дорезонансную область, и начиная примерно с 10 с стал устанавливаться околорезонансный режим колебаний.

Заключение. Разработанный алгоритм управления вибрационной технологической машиной, основанный на построении динамического портрета системы, позволяет выводить машину на резонансный режим как из дорезонансного, так и из зарезонансного режима. Разработанный подход универсальный и может применяться при изменяющихся других параметрах системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Blekhman I.I.* Vibrational mechanics: nonlinear dynamic effects, general approach, applications. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2000. 509 p.
2. *Вайсберг Л.А.* Проектирование и расчет вибрационных грохотов. М.: Недра, 1986. 144 с.
3. *Rand R.H., Kinsey R.J., Mingori D.L.* Dynamics of spinup through resonance // Intern. J. of Nonlinear Mechanics. 1992. Vol. 27. No. 3. P. 489–502.
4. *Fidlin A.* Nonlinear oscillations in mechanical engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 358 p.
5. *Tomchina O.P.* Passing through resonances in vibratory actuators by speedgradient control and averaging // Proc. 1st Int. Conf. Control of Oscillations and Chaos. Vol. 1. 1997, St. Petersburg. P. 138–141. DOI: 10.1109/COC.1997.633518
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/633518/>
6. *Boikov V., Andrievsky B., Shiegin V.* Experimental study of unbalanced rotors synchronization of the mechatronic vibration setup // Cybernetics and Physics. 2016. Vol. 5. No. 1. P. 5–11. URL: <http://lib.physcon.ru/doc?id=370c87090b0b>
7. *Panovko G., Shokhin A., Eremykin S.* An algorithm for automatic adjustment of the vibrational technological machine to the resonant regime // Vibroengineering PROCEDIA. 2014. Vol. 3. P. 100–104.
8. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Academia, 2006. 265 с.
9. *Ниселовская Е.В., Пановко Г.Я., Шохин А.Е.* Колебания механической системы, возбуждаемые неуравновешенным ротором асинхронного электродвигателя // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 6. С. 17–23.
10. *Пановко Г.Я., Шохин А.Е., Еремейкин С.А.* Экспериментальный анализ колебаний механической системы с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. № 4. С. 11–15.

Пановко Григорий Яковлевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией вибромеханики Института машиноведения имени А.А. Благоднарова РАН (Российская Федерация, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4); профессор кафедры «Прикладная механика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Шохин Александр Евгеньевич — канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института машиноведения имени А.А. Благонравова РАН (Российская Федерация, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4).

Еремейкин Сергей Александрович — аспирант Института машиноведения имени А.А. Благонравова РАН (Российская Федерация, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4).

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Пановко Г.Я., Шохин А.Е., Еремейкин С.А. Об одной задаче настройки вибрационных машин на резонансный режим // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 4. С. 106–111. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-106-111

ON A PROBLEM OF RESONANCE MODE TUNING FOR VIBRATION MACHINES

G.Ya. Panovko^{1, 2}

A.E. Shokhin¹

S.A. Eremeykin¹

gpanovko@yandex.ru

shohinsn@mail.ru

eremeykins@gmail.com

¹ Mechanical Engineering Research Institute (IMASH RAN), Moscow, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper deals with stabilization of resonance oscillations modes in mechanical systems excited by unbalanced rotors of electric motors of an asynchronous type. We examine the issues by constructing a "dynamic portrait" of the system. We suggest using a numerical algorithm for controlling the excitation frequency with a change in the mass of the system, the algorithm being based on measuring the phase shift between the oscillations of the system and the disturbing force. We give the results of numerical simulation of the tuning process for the resonance oscillations mode with a slow change in the mass of the system

Keywords

Mechanical system, oscillations, resonance, asynchronous electric motor, limited capacity, simulation, control system

REFERENCES

- [1] Blekhman I.I. Vibrational mechanics: nonlinear dynamic effects, general approach, applications. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2000. 509 p.
- [2] Vaysberg L.A. Proektirovanie i raschet vibratsionnykh grokhotov [Designing and calculation of vibrational screens]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 144 p.
- [3] Rand R.H., Kinsey R.J., Mingori D.L. Dynamics of spinup through resonance. *Intern. J. of Nonlinear Mechanics*, 1992, vol. 27, no. 3, pp. 489–502.
- [4] Fidlin A. Nonlinear oscillations in mechanical engineering. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006. 358 p.

- [5] Tomchina O.P. Passing through resonances in vibratory actuators by speedgradient control and averaging. *Proc. 1st Int. Conf. Control of Oscillations and Chaos*. Vol. 1. 1997, St. Petersburg, pp. 138–141 (in Russ.). DOI: 10.1109/COC.1997.633518
Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/633518/>
- [6] Boikov V., Andrievsky B., Shiegin V. Experimental study of unbalanced rotors synchronization of the mechatronic vibration setup. *Cybernetics and Physics*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 5–11. Available at: <http://lib.physcon.ru/doc?id=370c87090b0b>
- [7] Panovko G., Shokhin A., Eremeykin S. An algorithm for automatic adjustment of the vibrational technological machine to the resonant regime. *Vibroengineering PROCEDIA*, 2014, vol. 3, pp. 100–104.
- [8] Sokolovskiy G.G. *Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem [AC-drives with frequency regulation]*. Moscow, Academia Publ., 2006. 265 p.
- [9] Niselovskaya E.V., Panovko G.Ya., Shokhin A.E. Oscillations of the mechanical system, excited by unbalanced rotor of induction motor. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2013, vol. 42, no. 6, pp. 457–462. DOI: 10.3103/S1052618813060083
Available at: <http://link.springer.com/article/10.3103/S1052618813060083>
- [10] Panovko G.Ya., Shokhin A.E., Eremeykin S.A. Experimental analysis of the oscillations of a mechanical system with self-synchronized inertial vibration excitors. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2015, vol. 44, no. 6, pp. 492–496.
DOI: 10.3103/S1052618815060114
Available at: <http://link.springer.com/article/10.3103/S1052618815060114>

Panovko G.Ya. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Laboratory of Vibrational Mechanics, Mechanical Engineering Research Institute (IMASH RAN) (Malyy Khariton'evskiy per. 4, Moscow, 101990 Russian Federation); Professor of Applied Mechanics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Shokhin A.E. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher at Mechanical Engineering Research Institute (IMASH RAN) (Malyy Khariton'evskiy per. 4, Moscow, 101990 Russian Federation).

Eremeykin S.A. — post-graduate student at Mechanical Engineering Research Institute (IMASH RAN) (Malyy Khariton'evskiy per. 4, Moscow, 101990 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Panovko G.Ya., Shokhin A.E., Eremeykin S.A. On a Problem of Resonance Mode Tuning for Vibration Machines. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 4, pp. 106–111.
DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-106-111