

УДК 681.5:621.91

ПЕРЕХОДНЫЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

© 2014 В.А. Денисов, А.В. Жуков, Р.Р. Мадышев

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 08.07.2014

Рассмотрена система компенсации износа режущего инструмента применительно к расточному станку. Получены уравнения системы с учетом упругостей и зазоров, переходные и частотные характеристики. Для повышения вращающего момента и точности позиционирования предложена схема мехатронного модуля, определены условия отсутствия колебаний и область рабочих частот.

Ключевые слова: система компенсации износа режущего инструмента, переходные и частотные характеристики трех массовой системы

При механической обработке деталей наблюдается износ режущего инструмента. Особенно это актуально при обработке труднообрабатываемых материалов, которые широко используются в автомобильной и авиационной промышленности, поскольку для этих материалов трудоемкость обработки заготовки соизмерима с ресурсом инструмента. Остановка процесса механообработки по причине износа инструмента часто означает брак дорогостоящей детали. Контроль состояния и замена инструмента в реальных производственных условиях осуществляется на основе расчетной стойкости или по факту выхода из строя. В зависимости от качества инструмента вариация стойкости инструмента в партии колеблется. Измерение износа режущего инструмента и его коррекция производится после каждого цикла обработки детали, но этой информации не достаточно, чтобы наиболее полно использовать ресурс инструмента, идентифицировать критическое состояние и предотвратить его разрушение [1].

Для обеспечения надежности и оптимизации процесса механической обработки необходимо иметь информацию о текущем состоянии режущего инструмента, и прежде всего, информацию количественной оценки интенсивности износа режущего инструмента. Недоступность зоны резания вынуждает использовать для контроля износа инструмента косвенные методы оценки и прогнозирования: идентификацию износа инст-

румента по сигналам виброакустической эмиссии; прогноз по электрическим параметрам контакта “инструмент – деталь” и контроль износа на основе измерений аксиальной составляющей силы резания [1,2].

Зависимости составляющих силы резания от величины износа режущего инструмента успешно используется в металлорежущих станках фирмы SANtec Automation. Для контроля износа используется специальный датчик силы резания, преобразующий механические усилия на режущей кромке инструмента, в электрические сигналы, поступающие в нейронную модель микроконтроллера управления [3].

На рис. 1 представлена функциональная схема системы контроля состояния и компенсации износа режущей части инструмента расточного станка с использованием датчика силы резания. Схема позволяет объединить получистовую и чистовую обработки детали в одну операцию и осуществлять расточку одним резцом. Такой подход предотвращает ненужные остановки шпинделя и увеличивает производительность станочного оборудования. Размерный контроль обработки детали производится через микроконтроллер на основе данных измерений, полученных с помощью измерительного устройства 1 с измерительной головкой 2.

Отличительным признаком схемы является наличие в ней мехатронного модуля 12, в состав которого входит тензодатчик, осуществляющий измерение аксиальной составляющей силы резания F_A . Так как при обработке детали происходит изменение силы F_A в функции величины износа режущей кромки резца, то появляется возможность его более полного использования, исключая момент его разрушения. Коррекция позиции резца осуществляется через трансмиссию, включающую следующие элементы: мехатронный модуль 12, соединительную муфту 11, валопровод 7, винт – гайка 5

Денисов Владимир Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование автомобилей и электромеханика». E-mail: denisov-vladandr12@yandex.ru

Жуков Александр Вячеславович, аспирант кафедры «Электрооборудование автомобилей и электромеханика».

E-mail: alexzhuk87@yandex.ru

Мадышев Рамиль Равилович, аспирант кафедры «Электрооборудование автомобилей и электромеханика».

E-mail: rr.madyshhev@mail.ru

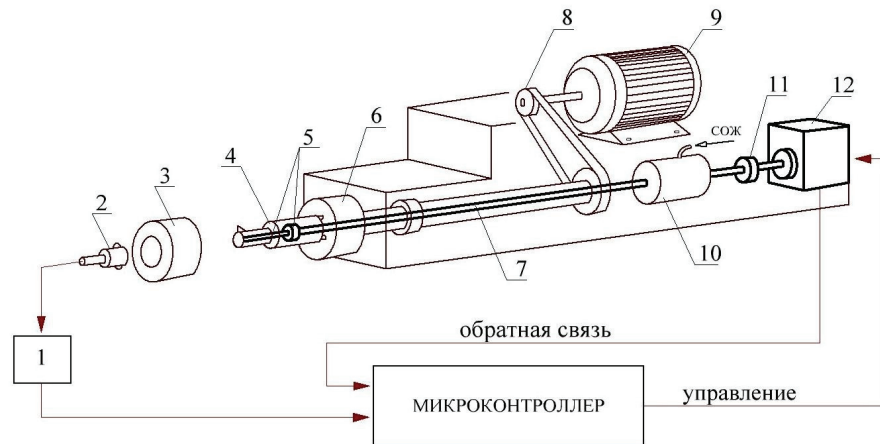


Рис. 1. Функциональная схема системы контроля

и компенсации износа режущей части инструмента расточного станка:

- 1 – блок измерения, 2 – измерительная головка, 3 – деталь (заготовка), 4 – борштанга, 5 – винт, 6 – гайка, 7 – валопровод, 8 – клиноременная передача, 9 – двигатель шпинделя, 10 – блокподачи СОЖ, 11 – соединительная муфта, 12 – мехатронный модуль

и борштанга 4. В этой схеме валопровод 7 используется также для подачи смазочноохлаждающей жидкости СОЖ, которая по его внутреннему каналу подается в зону меллообработки.

В данной работе ставится задача математического описания и проведения исследований переходных и частотных характеристик трансмиссии системы контроля и компенсации износа инструмента применительно к расточному станку.

Схема трансмиссии системы компенсации расточного станка (рис. 2) содержит мехатронный модуль 1, который построен на базе шагового многофазного гибридного двигателя 2 и фрикционной передачи 4. Такая комбинация является перспективной, так как позволяет повысить вращающий момент валопровода и точность позиционирования резца без снижения жесткости системы. Фрикционная передача может быть многоступенчатой, что обеспечивает, при использовании электромагнитной редукции шагового двигателя, перемещение объекта на сотые доли микрона. Для обеспечения быстрых перемещений резца применяется обратная связь через энкодер. В этом случае шаговый

двигатель работает в режиме бесконтактного двигателя постоянного тока, что создает условия для движения без пропуска шагов.

В рассматриваемой схеме трансмиссии, связь резца с ротором электродвигателя является упругой за счет скручивания тензодатчика 5, валопровода и элементов борштанги. Трансмиссия содержит зазоры, вызванные неточностью изготовления составляющих ее узлов. В связи с этим, при математическом описании схемы приняты следующие допущения: абсолютно жесткие элементы определяются точками, совпадающими с их центрами тяжести; силы и моменты приложены к сосредоточенным массам; упругие связи невесомы и имеют постоянную жесткость; упругая деформация линейна и подчиняется закону Гука.

Штрихами в схеме (см. рис. 3) обозначены величины и параметры не приведенные к валу двигателя. Для приведения использованы следующие выражения: $M_{23} = M'_{23} / i$; $\varphi_2 = \varphi'_2 \cdot i$; $\varphi_3 = \varphi'_3 \cdot i$; $J_2 = J'_2 / i^2$; $J_3 = J'_3 / i^2$ и $c_{23} = c'_{23} / i^2$,

С учетом приведения, схема трансмиссии может быть описана системой уравнений:

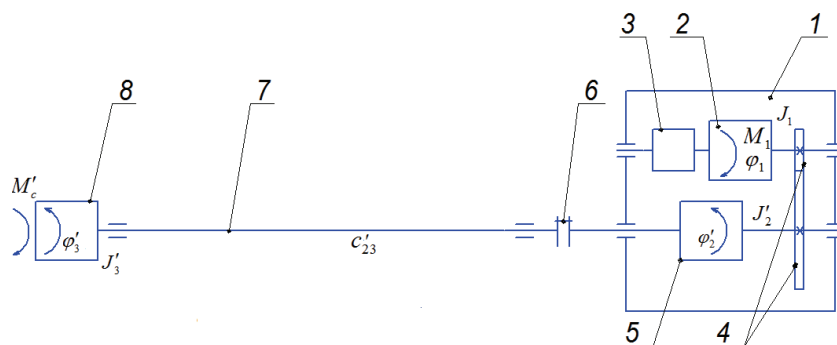


Рис. 2. Кинематическая схема трансмиссии системы компенсации износа инструмента:

- 1 – мехатронный модуль, 2 – шаговый двигатель, 3 – энкодер, 4 – фрикционная передача, 5 – тензодатчик, 6 – соединительная муфта, 7 – валопровод, 8 – объект (винт – гайка борштанги, резец)

$$\begin{cases} M_1 - M_{12} - k_{f1} \frac{d\varphi_1}{dt} = J_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2}; \\ M_{12} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2); \\ M_{12} - M_{23} - k_{f2} \frac{d\varphi_2}{dt} = J_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2}; \\ M_{23} = c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3 \pm \Delta\varphi_{23}); \\ M_{23} - M_C - k_{f3} \frac{d\varphi_3}{dt} = J_3 \frac{d^2\varphi_3}{dt^2}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – соответственно углы поворота сосредоточенных масс; c_{12}, c_{23} – коэффициент же-

сткости упругих связей; J_1, J_2 и J_3 – соответственно момент инерции ротора, фрикционной передачи, тензодатчика, валопровода и объекта; k_{f1}, k_{f2}, k_{f3} – коэффициенты трения скольжения опор; M_{12}, M_{23} – моменты упругого взаимодействия между массами; $\Delta\varphi_{23}$ – зазор в элементах борштанги. В системе действуют внешние моменты: вращающий момент M_1 ротора двигателя и момент M_C нагрузки на инструмент [4].

Уравнения (1) позволяют рассчитать и построить переходные характеристики трансмиссии системы компенсации с учетом упругих взаимодействий элементов и зазоров при управляющем и возмущающем моментах.

При расчетах приняты следующие парамет-

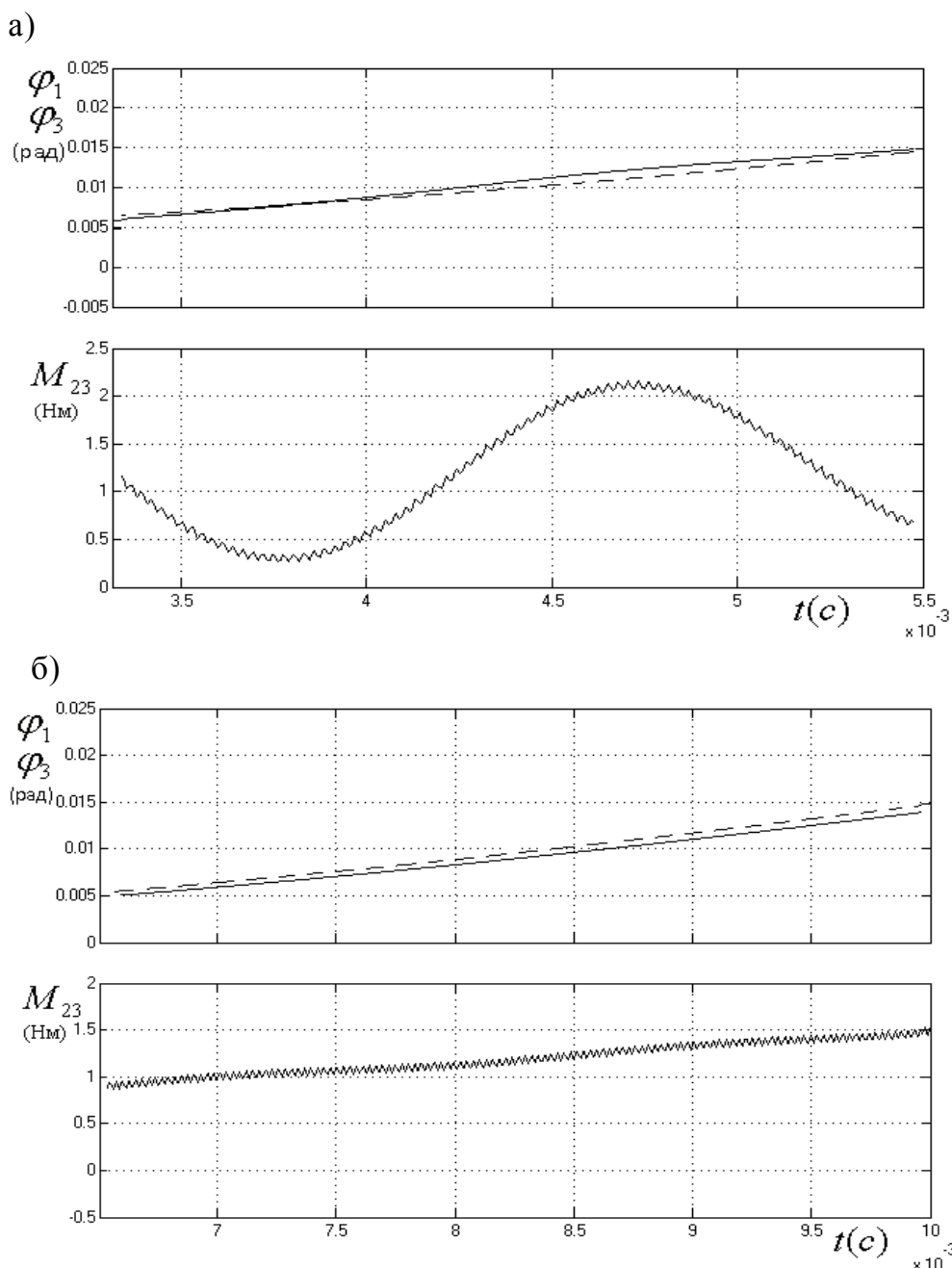


Рис. 3. Переходные характеристики – $\varphi_1(t), - \varphi_3(t)$:

- а) при ступенчатом воздействии момента M_1 и плавном изменении M_C ;
- б) при заданной интенсивности M_1 и плавном изменении M_C

ры: $J_1 = 21 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_2 = 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_3 = 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $c_{12} = 5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$; $c_{23} = 2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}$; $k_{f1} = k_{f2} = k_{f3} = 0,02$;

Характеристики (рис. 3,а) получены при ступенчатом изменении входного момента M_1 шагового двигателя и плавном изменении момента M_C нагрузки. Из кривых видно, что угол $\varphi_3(t)$ выхода содержит колебания, которые обусловлены упругостью валопровода и наличием зазора в элементах борштанги. Амплитуда момента M_{23} упругой связи соответствует 0,96 Нм, а амплитуда переменной составляющей – 0,0008 рад. При увеличении коэффициента трения $k_{f1} = k_{f2} = k_{f3} = 0,08$ амплитуда колебаний незначительно уменьшается. При подаче вращающего момента с заданной интенсивностью (рис. 3,б) колебания выходного угла исчезают и кривая $\varphi_3(t)$ содержит только высокочастотную составляющую, вызванную действием $\pm \Delta\varphi_{23}$ зазора и зависящими от соотношения моментов инерции трех массовой расчетной системы.

При допущении малости зазоров [4], из уравнений (1) получаем передаточную функцию:

$$\varphi_3(s) = \frac{c_{23}c_{12}M_1(s)}{A(s)} - \frac{B(s)M_C(s)}{A(s)}; \quad (2)$$

где $A(s) = J_1J_2J_3s^6 + (J_3J_2k_{f1} + J_1J_3k_{f2} + J_1J_2k_{f3})s^5 + [(J_3J_2 + J_1J_3)c_{12} + (J_3J_1 + J_1J_2)c_{23} + J_1k_{f3}k_{f2} + k_{f1}(J_2k_{f3} + J_3k_{f2})]s^4 + [((k_{f2}c_{12} + k_{f1}(c_{12} + c_{23})))J_3 + ((k_{f2}c_{23} + k_{f3}(c_{12} + c_{23})))J_1 + (k_{f1}c_{23} + k_{f3}c_{12})J_2 + k_{f1}k_{f2}k_{f3}]s^3 + [(J_1 + J_2 + J_3)c_{12}c_{23} + (k_{f2} + k_{f3})k_{f1}c_{23} + (k_{f1} + k_{f2})k_{f3}c_{12}]s^2 + [(k_{f1} + k_{f2} + k_{f3})c_{12}c_{23}]s$ – полином знаменателя;

$B(s) = J_1J_2s^4 + (J_1k_{f2} + J_2k_{f1})s^3 + [J_2c_{12} + J_1(c_{12} + c_{23}) + k_{f1}k_{f2}]s^2 + [k_{f2}c_{12} + k_{f1}(c_{12} + c_{23})]s + c_{12}c_{23}$ – полином числителя.

Полученная передаточная функция (2) позволяет получить и исследовать логарифмические частотные характеристики трансмиссии. Анализ характеристик (рис. 4) показывает, что при уменьшении значения коэффициента жесткости валопровода частотные характеристики смещаются влево (кривые 2). Резонансное явление в

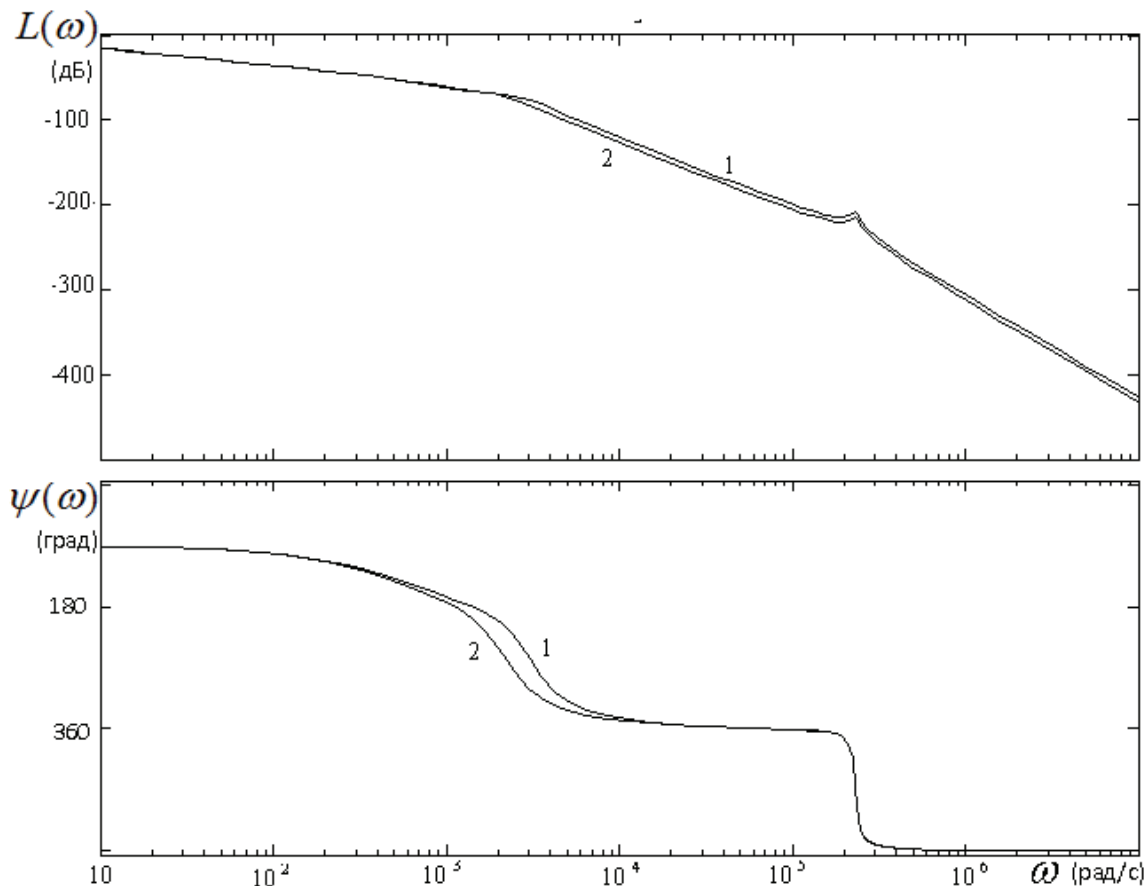


Рис. 4. Логарифмические частотные характеристики трансмиссии: $L(\omega)$ – амплитудно - частотная характеристика; $\psi(\omega)$ – фазо - частотная характеристика

трансмиссии наблюдается при высокой частоте ($\omega = 12 \cdot 10^4 \text{ рад/с}$). В зоне рабочих частот мехатронного модуля ($\omega < 500 \text{ рад/с}$) характеристика $L(\omega)$ имеет наклон -40 дБ/дек. , что позволяет при разработке алгоритма управления шаговым двигателем представить трансмиссию, в целях упрощения, интегрирующим звеном.

ВЫВОДЫ

1. Предложена схема мехатронного модуля, на основе шагового многофазного гибридного двигателя и фрикционной передачи, позволяющая повысить вращающий момент валопровода, точность позиционирования и обеспечивающая непрерывный контроль, а также компенсацию износа режущего инструмента.

2. Получены уравнения системы, позволяющие проводить исследования с учетом упругос-

тей и зазоров её элементов.

3. Для устранения колебаний резца вращающийся момент шагового двигателя, при нагрузке трансмиссии, должен нарастать с заданной интенсивностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров А.С. Мониторинг и прогнозирование износа режущего инструмента в мехатронных станочных системах: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2007. 201 с.
2. Srinivas J., Kotaiah K. Rama. Tool wear monitoring with indirect methods // Manufacturing Technology Today, India, 2005. Vol. 4, Pp. 7-9.
3. Chen X.Q., Li H.Z. Development of a tool wear observer model for online tool condition monitoring and control in machining nickel-based alloys // Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2009.
4. Денисов В.А. Системы позиционного электропривода с переменной структурой управления. М.: Спутник+. 2013. 122 с.

TRANSITIONAL AND FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM COMPENSATE THE WEAR OF THE CUTTING TOOL

© 2014 V.A. Denisov, A.V. Zhukov, R.R. Madyshev

Togliatti State University

The system compensate the wear of the cutting tool in relation to the boring machine. The obtained equation system with account of the elasticities and gaps, transitional and frequency characteristics. To increase torque and precision of positioning the scheme mechatronic module, the conditions for the absence of oscillations and frequency range.

Keywords: the system compensate the wear of the cutting tool, transitional and frequency characteristics of the three mass system

Denisov Vladimir, Candidate of the Technical Sciences, Associated Professor at the Cars Electrical Equipment and Electromechanics Department.

E-mail: denisov-vladandr12@yandex.ru

Alexander Zhukov, Postgraduate Student, at the Cars electrical Equipment and Electromechanics Department.

E-mail: alexzhuk87@yandex.ru

Ramil Madyshev, Postgraduate Student, at the Cars electrical equipment and electromechanics Department.

E-mail: rr.madyshev@mail.ru