

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫХОДНОГО ПАРАМЕТРА АДАПТИВНОГО ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА ТВЕРДЫХ ТЕЛ С КОСВЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Задошенко Е.Г., Соколенко А.И., Богинская В.В., Кайибанда Д.В.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Показано, что введение в структурно-функциональную схему адаптивного фрикционного контакта второго сумматора и блока сравнения в виде адаптивного фрикционного контакта с положительной обратной связью, позволяет подавать на вход датчика-преобразователя сигнал, значение которого, а также значение выходного сигнала датчика-преобразователя обратно пропорциональны коэффициенту трения. Это позволяет исключить дополнительный нажимной узел, эквивалентно заменив его выходным сигналом чувствительных элементов.

Ключевые слова: адаптивный фрикционный контакт, сумматор, коэффициент трения, датчик, обратная связь.

STABILIZATION OF THE ADAPTIVE FRICTION OUTPUT PARAMETER CONTACT OF SOLIDS WITH INDIRECT CONTROL

Zadoshenko E.G., Sokolenko A.I., Boginskaya V.V., Kayibanda D.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. It is shown that the introduction of structural-functional scheme of adaptive frictional contact of the second adder and comparator in the form of adaptive frictional contact with a positive feedback, allows you to feed the input of the sensor-Converter signal, the value of which, as well as the value of the output signal of the sensor-transducer is inversely proportional to the coefficient of friction. This allows you to eliminate the additional push node, equivalent to replacing it with the output signal of the sensitive elements.

Keywords: adaptive friction contact, adder, coefficient of friction, sensor, feedback.

Состояние вопроса. В работах [1, 2, 3] приведены результаты исследования синтезированного адаптивного фрикционного контакта (АФК) твердых тел с косвенным регулированием, основной особенностью которого является структурное отделение сумматора от фрикционной группы и включение его в состав основного и дополнительного нажимных узлов. Это позволяет осуществить регулирование задающего воздействия, поступающего на вход фрикционной группы, за счет автоматического изменения усилия упругого элемента в функции возмущающего воздействия, то есть подавать на вход управляющее и задающее воздействия одного знака.

Главный недостаток синтезированного АФК заключается в необходимости дополнительного силового воздействия на упругий нажимной элемент (ЭУН), что приводит к появлению силовых факторов большой величины, несоизмерных с величиной выходного параметра контакта. Данный недостаток обусловлен построением принципиальной схемы АФК, в соответствии с которой чувствительные элементы датчика-преобразователя расположены между сумматором и фрикционной группой [4, 5].

Постановка задачи исследования. Синтез АФК твердых тел с косвенным регулированием.

Решение задачи. Перенос сумматора в зону, расположенную между упругим нажимным элементом и чувствительными элементами датчика-преобразователя, и сохранение расположения упругого нажимного элемента между сумматором и фрикционной группой позволяет исключить дополнительное силовое воздействие на ЭУН. Такое структурное построение АФК, однако, не позволяет осуществить саморегулирование, так как исходное положение сумматора после настройки будет соответствовать передаче нагрузки при максимальном значении возмущающего воздействия, т. е. минимальному значению управляющего воздействия [6, 7]. Поэтому необходимо дополнить структуру АФК устройством, которое обладает следующими свойствами.

1. Исключить подачу на вход датчика-преобразователя выходного сигнала АФК или ограничивать на входе его величину при максимальном уровне возмущающего воздействия.
2. Подавать на вход датчика-преобразователя больший, чем в первом случае, выходной сигнал АФК при другом, меньшем уровне возмущающего воздействия.

Указанные свойства присущи фрикционному контакту с положительной обратной связью, описанному в работах [8, 9]. В этом контакте нелинейно изменяющийся выходной параметр связан прямой зависимостью с возмущающим воздействием, поэтому одной из задач синтеза АФК является обеспечение одинаковых фрикционных параметров, характера и величины их изменения для фрикционной группы и упомянутого фрикционного контакта.

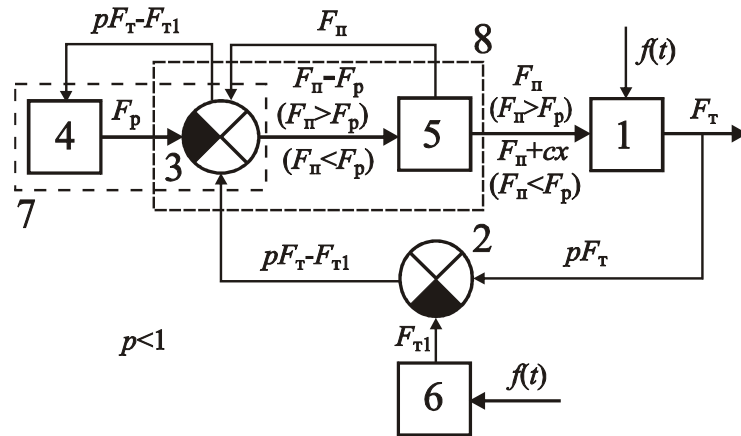


Рисунок 1 - Структурно-функциональная схема АФК с косвенным регулированием

С учетом приведенных выше соображений синтезирована структурно-функциональная схема АФК, приведенная на рис. 1. В схеме предусмотрено использование двух сумматоров 2 и 3. Часть выходного параметра pF_T подается на выход сумматора 2. На другой вход последнего поступает сигнал обратного знака F_{T1} от блока сравнения 6. Результирующий сигнал $pF_T - F_{T1}$ поступает через сумматор 3, являющийся в данном случае передаточным блоком с коэффициентом усиления 1, в блок чувствительных элементов 4 датчика-преобразователя 7. Сформированное на выходе блока 4 управляющее воздействие F_{pi} поступает на вход сумматора 3: в результате суммирования управляющего и задающего F_n воздействий сигнал $F_n - F_{pi}$ подается на упругие нажимные элементы 5 нажимного узла 8. Здесь происходит формальное преобразование управляющего воздействия F_{pi} в приращение силового фактора cx_i упругих нажимных элементов 5, и преобразованное управляющее воздействие $F_n + cx_i$ передается на фрикционную группу 1 контакта.

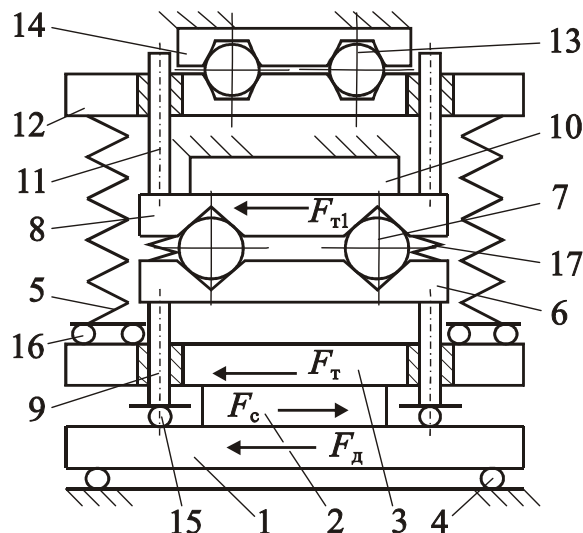


Рисунок 2 - Принципиальная схема АФК с косвенным регулированием

При изменении возмущающего воздействия $f(t)$ происходит соответствующее изменение исходных pF_T , F_{T1} и производных F_{pi} и cx_i сигналов, благодаря чему осуществляется поддержание

постоянной величины выходного параметра контакта F_T . Из схемы видно, что нажимной узел 8 имеет порог чувствительности $F_{pi} = F_n$, при котором управляющий силовой фактор $cx_i = 0$.

Указанные принципы регулирования и отмеченные свойства реализованы в принципиальной схеме АФК, изображенной на рис. 2. К телу 1, опирающемуся на неподвижную плоскость при помощи катков 4, приложена движущая сила F_d , а к телу 2, расположенному между телами 1 и 3 и прижатому к ним пружиной 5, – сила полезного сопротивления F_c . В отверстия тела 3 пропущены поводки 9, прикрепленные к телу 6 и опирающиеся на тело 1 посредством контактов 15. Между телами 6 и 8 расположены пружины 17, осуществляющие прижатие тела 8 к неподвижной поверхности 10, а в гнездах переменной глубины – тела качения 7.

Тело 8 связано в тангенциальном направлении с планкой 12 посредством закрепленных на нем поводков 11, пропущенных в отверстия планки. Между планкой 12 и неподвижной плоскостью 14 расположены в гнездах переменной глубины тела качения 13.

Для исключения действия на пружины 5 поперечных нагрузок предусмотрены опоры качения в виде катков 16, установленных между телом 3 и пружинами.

При проведении анализа воспользуемся следующими допущениями:

– силы трения между катками 4, 15, 16 и соответствующими поверхностями при движении равны нулю;

– силы трения при перекатывании тел качения 7 и 13 по соответствующим гнездам отсутствуют;

– вес тел 2, 3, 8 и планки 12 пренебрежимо мал по сравнению с действующими силовыми факторами.

Первоначальное натяжение пружин 5 АФК должно быть произведено, очевидно, таким образом, чтобы крайнее верхнее положение планки 12 соответствовало номинальной величине силы трения фрикционной группы, т. е.

$$F_{Tn} = 2F_n f_{\max},$$

где F_n – суммарное начальное натяжение пружин 5; f_{\max} – максимальное значение коэффициента трения между телами 1, 2 и 3.

В формуле в качестве настроечной принято максимальное значение коэффициента трения, так как это соответствует принятому для данной схемы АФК принципу регулирования [10, 11].

При действии на тело 2 силы F_c тело 3, смещаясь за счет силы трения вправо (рис. 2), увлекает тело 6, в результате чего тела качения 7 заклиниваются в гнездах и стремятся сдвинуть тело 8 относительно поверхности 10. Если тело 8 начинает скользить по поверхности 10, оно передает движение планке 12 посредством поводков 11. Движение планки 12 приводит к заклиниванию тел качения 13 в гнездах, в результате чего возникает управляющее воздействие F_p , стремящееся отжать вниз планку 12 (сумматор 3 на рис. 1).

Максимальное значение выходного сигнала, поступающего на планку 12, равно, очевидно, разности между силой трения пары 2–3 и силой трения пары 8–10, являющейся вторым сумматором 2 (по рис. 1), т. е.

$$\Delta F_T = F_T - F_{T1}, \quad (1)$$

где F_T – сила трения между телами 2 и 3; F_{T1} – сила трения между телом 8 и поверхностью 10.

Так как рассматриваемый АФК должен обеспечивать стабильность выходного параметра $2F_n f_{\max} = 2F_T$ (при 2-х парах трения), запишем:

$$F_T = F_n f_{\max}. \quad (2)$$

Сила трения пары 8–10 складывается из силы трения, создаваемой силой прижатия тела 8 пружинами 17 (для создания начальной силы трения), и силы трения, возбуждаемой на поверхности контакта вертикальной составляющей F_{pi1} нормальной силы давления между телами качения 7 и гнездами тел 6 и 8, т. е.

$$F_{T1} = F_{n1} f_i + F_{pi1} f_i, \quad (3)$$

где F_{n1} – суммарная сила натяжения пружин 17; f_i – текущее значение коэффициента трения.

Значение силы F_{pi1} зависит от соотношения значений в правой части равенства (1). Так как для обеспечения саморегулирования АФК при изменении f_i необходимо, чтобы удовлетворялось неравенство $\Delta F_T > 0$, сила F_{pi1} определяется по формуле:

$$F_{p1} = F_{T1} \operatorname{tg} \alpha, \quad (4)$$

где α – угол давления тел качения 7 ($\alpha = \text{const}$) [12, 13].

Подставляя правую часть выражения (4) в соотношение (3), находим:

$$F_{T1} = \frac{F_{n1} f_i}{1 - f_i \operatorname{tg} \alpha}. \quad (5)$$

Формула (5) обосновывает необходимость введения в схему АФК сумматора 2 (рис. 1) в конструктивной форме, показанной на рис. 2 [14, 15]. Действительно, в случае уменьшения значения f_i планка 12 в процессе саморегулирования АФК должна переместиться вниз; обязательным условием этого должно быть увеличение разности ΔF_T . При отсутствии тел качения 7 и соответствующих гнезд $F_{T1} = F_{n1} f_i$, а $\Delta F_T = (F_n - F_{n1}) f_i$, т. е. разность ΔF_T при уменьшении коэффициента трения f_i также будет уменьшаться, и саморегулирование становится невозможным.

При наличии тел качения 7 и гнезд разность

$$\Delta F_{Ti} = F_n f_i - \frac{F_{n1} f_i}{1 - f_i \operatorname{tg} \alpha} \quad (6)$$

будет уменьшаться с увеличением коэффициента трения f_i , если первая производная функции (6) отрицательна, что возможно при значениях

$$\left(\frac{1 - \sqrt{m}}{\operatorname{tg} \alpha} \right) < f_i < \left(\frac{1 + \sqrt{m}}{\operatorname{tg} \alpha} \right),$$

где $m = F_{n1} / F_n$.

В формуле (6), полученной на основании равенства (1) с учетом выражения (5) при значении силы F_n принято значение f_i , а не f_{\max} , как в равенстве (2), так как рассматривается момент изменения коэффициента трения при начальном положении планки 12 [16, 17].

Для обеспечения наибольшей чувствительности датчика-преобразователя 7 (рис. 1) к изменению коэффициента трения параметры АФК должны быть такими, чтобы передача нагрузки при значении $f_i = f_{\max}$ описывалась равенством

$$F_{p1} - F_n - F_{Tp} = 0, \quad (7)$$

где F_{p1} – вертикальная составляющая нормальной силы давления между телами качения 13 и гнездами планки 12; F_{Tp} – суммарная сила трения между поводками 11 и гнездами планки 12.

Учитывая, что

$$F_{p1} = \Delta F_T \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (8)$$

$$F_{Tp} = \Delta F_T f_1, \quad (9)$$

подставим (8) и (9) в (7), после чего находим:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = f_1 + \frac{1}{[1 - m / (1 - f_{\max} \operatorname{tg} \alpha)] f_{\max}}. \quad (10)$$

Здесь f_1 – коэффициент трения между поводком 11 и планкой 12.

Результаты исследования могут быть использованы при расчетах и проектировании линейных АФК, применяемых в конструкциях направляющих узлов металлорежущих станков, а также в конструкциях адаптивных фрикционных муфт с целью повышения их точности срабатывания.

Вывод. Введение в структурно-функциональную схему АФК второго сумматора и блока сравнения в виде АФК с положительной обратной связью, позволяет подавать на вход датчика-преобразователя сигнал, величина которого, а также величина выходного сигнала датчика-преобразователя обратно пропорциональны коэффициенту трения. Это позволяет исключить дополнительный нажимной узел, эквивалентно заменив его выходным сигналом чувствительных элементов.

Список литературных источников

1. Шишкарев, М.П. Исследование режима перегрузки АФМ второго поколения (базовый вариант) // М.П. Шишкарев // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2015». 2015. С. 182–186.
2. Компоновка базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П.

Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 7. – С. 16–20.

3. Шишкарёв, М.П. Выбор формы нагрузочной характеристики первого конструктивного варианта адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М.П. Шишкарёв, А.А. Луцкич / В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф., в рамках 17-й Международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014», Ростов н/Д, 2014. – С. 206–209.

4. Шишкарёв, М.П. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчёт. Монография // М.П. Шишкарёв, А.А. Луцкич, А.Ю. Угленко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.

5. Повышение нагрузочной способности и точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 5. – С. 18–24.

6. Условие высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // М.П. Шишкарёв // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 46–48.

7. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты со смешанной структурой обратной связи // М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 3–8.

8. Шишкарёв, М.П. Исследование базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2015». 2015. С. 162–167.

9. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твёрдых тел / М.П. Шишкарёв // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – № 4–6. – С. 43–47.

10. Шишкарёв, М.П. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты второго поколения (модифицированной) // М.П. Шишкарёв, А.А. Луцкич, А.Ю. Угленко // Материалы 6-й научно-практической конференции «Инновационные технологии в машиностроении и металлургии», Ростов н/Д, 2014. – С. 118–130.

11. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 3–7.

12. Теоретические основы стабилизации выходного параметра адаптивного фрикционного контакта твёрдых тел // М.П. Шишкарёв // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – № 2–3. – С. 17–23.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.