

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ АДАПТИВНОГО ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА НА ФОРМУ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Лебедев А.Р., Рамзаев А.В.

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

Аннотация. Показано, что все три способа достижения высокой точности срабатывания характеризуются соответствующей структурой обратной связи адаптивного фрикционного контакта. В одноконтурной системе обратной связи коэффициент усиления имеет переменное значение, в двухконтурных системах его значение постоянно. Однотипная обратная связь адаптивного фрикционного контакта формирует не зависящие от вида коэффициента усиления законы изменения управляющего воздействия со сходными качественными и количественными оценками.

Ключевые слова: адаптивный фрикционный контакт, коэффициент усиления, управляющее воздействие, способ, коэффициент трения, коэффициент точности.

THE INFLUENCE OF THE FEEDBACK STRUCTURE OF ADAPTIVE FRICTION INFLUENCE ON THE FORM OF CONTROL ACTION

Lebedev A.R., Ramzaev A.V.

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

Abstract. It is shown that all three methods of achieving high accuracy of response are characterized by the corresponding feedback structure of adaptive friction contact. In a single-loop feedback system, the gain is variable, in double-circuit systems, its value is constant. The same type of feedback of adaptive frictional contact forms laws of change in the control action, independent of the type of gain, with similar qualitative and quantitative estimates.

Keywords: adaptive friction contact, the gain, control action, the method, the coefficient of friction, coefficient of precision.

Состояние вопроса. В настоящее время существуют три способа достижения высокой точности срабатывания адаптивного фрикционного контакта (АФК) твердых тел:

– с переменным коэффициентом усиления (КУ) отрицательной одноконтурной обратной связи, изменяющимся в точном требуемом соответствии с текущим коэффициентом трения фрикционной группы [1, 2, 3];

– с постоянным КУ отрицательной двухконтурной обратной связи и созданием внутрисконтактной фрикционной связи между основной и дополнительной фрикционной группой АФК [4, 5, 6];

– с переменным КУ положительной одноконтурной обратной связи, величина которого связана обратной зависимостью с коэффициентом трения.

Под высокой будем понимать теоретическую точность срабатывания с коэффициентом точности, равным или близким единице с отклонением не более 1...3 % [7, 8].

В работах [9, 10, 11] установлено, что точность срабатывания АФК определяется, в основном, не абсолютным значением КУ, а некоторой строго определенной совокупностью его значений, соответствующих текущим значениям коэффициента трения. КУ обратной связи оказывает влияние на формирование управляющего воздействия, в соответствии с которым возможно достижение определенной точности срабатывания. Управляющее воздействие формируется, кроме того, выходным параметром фрикционной группы АФК, поэтому в любом случае не остается неизменным.

Постановка задачи исследования. Изучение влияния структуры устройства обратной связи АФК твердых тел на форму управляющего воздействия.

Решение задачи. Рассмотрим возможность вариантности формы изменения управляющего воздействия при указанных способах достижения высокой точности срабатывания АФК, поддерживаемых соответствующими структурными схемами обратной связи.

Способ 1. Значение выходного параметра (силы трения) АФК находится по формуле:

$$F_{\tau i} = z f_i (F_n - F_{pi}), \quad (1)$$

где Z – количество пар трения фрикционной группы; f_i – текущая величина коэффициента трения; F_n – нормальная сила прижатия фрикционных пар друг к другу; F_{pi} – управляющее воздействие обратной связи.

Для того чтобы выходной параметр АФК не зависел от коэффициента трения, и оставался постоянным, при наличии отрицательной обратной связи контакт должен обеспечивать передачу силы трения, равной

$$F'_T = zF_n f_{\min}, \quad (2)$$

где f_{\min} – минимальное значение коэффициента трения в реальных условиях эксплуатации АФК.

Приравняв правые части (1) и (2), найдем:

$$F_{pi} = F_n \left(1 - \frac{f_{\min}}{f_i} \right). \quad (3)$$

Зависимость (3) отражает закон изменения управляющего воздействия, который обеспечивает стабильность выходного параметра АФК. Реализация зависимости (3) осуществляется за счет автоматического изменения угла давления чувствительных элементов датчика-преобразователя, благодаря чему коэффициент усиления является переменным [12, 13, 14].

Способ 2. Особенностью данного способа является наличие двух датчиков-преобразователей с одинаковыми или неодинаковыми КУ. Сумматор является общим для обоих датчиков-преобразователей, поэтому даже при одинаковой структуре и составе фрикционных групп формы и управляющие воздействия последних различны.

Для подобного типа АФК необходимо определить эквивалентное управляющее воздействие. Учитывая, что структуры и вид обратной связи рассматриваемого АФК и АФК первого поколения [15, 16] одинаковы, можно воспользоваться соотношением (1), в котором F_T – значение, определяемое по найденной в работе [17] формуле. При этом условии получаем:

$$F_{p.экв} = F_n \left[1 - \frac{z' + z_1(1 + 0,5z'f_i \operatorname{tg}\alpha)}{z'(1 + 0,5z'f_i \operatorname{tg}\alpha)(1 + z_1f_i \operatorname{tg}\alpha)} \right], \quad (4)$$

где Z' и z_1 – число пар трения соответственно основной и дополнительной фрикционных групп; $\operatorname{tg}\alpha$ – коэффициент усиления обратной связи.

Способ 3. В отличие от первого способа действие положительной обратной связи предполагает дополнительное пропорциональное прижатие пар трения в зависимости от текущей величины коэффициента трения. Поэтому настроечное (номинальное) значение силы трения АФК определяется по формуле

$$F_{Tн} = zF_n f_{\max}, \quad (5)$$

что обуславливает обращение в нуль управляющего воздействия при максимальной величине коэффициента трения f_{\max} .

С учетом этого предельная сила трения АФК равна:

$$F_{Ti} = z f_i (F_n + F_{pi}). \quad (6)$$

На основании соотношений (5) и (6) получаем:

$$F_{pi} = F_n \left(\frac{f_{\max}}{f_i} - 1 \right). \quad (7)$$

Закономерности изменения управляющего воздействия в зависимости от способа достижения высокой точности срабатывания АФК показаны графически на рисунке. Кривые 1–3 построены соответственно по формулам (3), (4) и (7) при $F_n = 100$ Н. При построении кривой 2 принято $Z' = 4$, $z_1 = 4$, $\operatorname{tg}\alpha = 6,6$ (согласно рекомендациям, изложенным в работах [18, 19, 20, 21]). В этом случае теоретический коэффициент точности при принятом интервале изменения коэффициента трения равен 1,03, т. е. удовлетворяет поставленному выше условию.

Рассмотрение графиков показывает, что однотипные структуры обратной связи (отрицательной) дают близкие законы изменения управляющего воздействия (кривые 1 и 2), особенно при $f_i > 0,3$, как по качественной, так и по количественной оценке. Разница между значениями управляющих воздействий при малых значениях коэффициента трения является следствием того, что, согласно идее первого способа, коэффициент усиления равен нулю при значении коэффициента трения $f_i = f_{\min}$,

тогда как второй способ основан на постоянстве коэффициента усиления и управляющее воздействие не обращается в нуль ни при каком значении коэффициента трения.

При третьем способе вследствие наличия положительной обратной связи форма изменения управляющего воздействия имеет обратный характер по отношению к первому и второму способам (кривая 3).

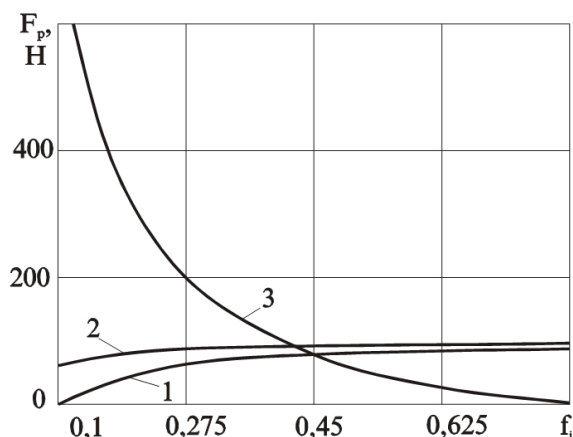


Рисунок 1 - Зависимости управляющего воздействия от коэффициента трения для различных способов достижения высокой точности срабатывания АФК

Полученные результаты исследования могут использоваться при выборе способа достижения высокой точности срабатывания АФК твердых тел, оптимального для его адаптации в реальных условиях эксплуатации.

Выводы:

1. Каждый из трех способов достижения высокой точности срабатывания характеризуется соответствующей структурой обратной связи АФК. В одноконтурной системе обратной связи КУ имеет переменную величину, в двухконтурных системах величина его постоянна.

2. Однотипная обратная связь АФК формирует не зависящие от вида КУ законы изменения управляющего воздействия со сходными качественными и количественными оценками.

Список литературных источников

1. Анализ эксплуатационных характеристик вариантов адаптивной фрикционной муфты с раздельным силовым замыканием /М.П. Шишкарев, А.Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 8. – С. 25–29.

2. Обоснование наибольшей точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт /М.П. Шишкарев, Чан Ван Дык // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2015. – № 11. – С. 20–26.

3. Анализ переходного периода адаптивных фрикционных контактов в условиях положительного прироста коэффициента трения / М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2000. – № 3. – С. 14–17.

4. Компонентные решения приводов машин с адаптивными фрикционными муфтами // М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2003. – № 7. – С. 7–12.

5. Оптимизация коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт первого поколения с дифференцированными парами трения / М.П. Шишкарев // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

6. Исследование вариантов адаптивных фрикционных муфт второго поколения / М.П. Шишкарев, Чан Ван Дык // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 42 – 45.

7. О функциях адаптивных предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 7. – С. 7–8.

8. Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 13–15.

9. Компонировка базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения / М.П. Шишкарев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 7. – С. 16–20.

10. Шишкарев, М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел 2-го поколения / М.П. Шишкарев // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII

Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» // Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 72–76.

11. Шишкарёв, М.П. Исследование режима перегрузки АФМ второго поколения (базовый вариант) / 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. 182–186.

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

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

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

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

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

17. 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.

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

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

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

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

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.