

МОДЕРНИЗАЦИЯ АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

Зиновьев В.Е.

Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Показана возможность реализации вариантов адаптивной фрикционной муфты второго поколения с отдельным силовым замыканием пар трения фрикционных групп. Установлено, что выбор варианта схемы отдельного силового замыкания в адаптивной фрикционной муфте второго поколения влияет на ограничение максимального значения коэффициента усиления обратной связи.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, отдельное замыкание, второе поколение, настройка, нагрузочная характеристика.

MODERNIZATION OF ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES OF THE SECOND GENERATION

Zinoviev V. E.

Rostov state University of Railways, Rostov-on-don, Russian Federation

Abstract. The possibility of implementing variants of adaptive friction clutch of the second generation with separate power closure of friction pairs of friction groups is shown. It is established that the choice of a variant of the circuit of separate power closure in the adaptive friction clutch of the second generation affects the limitation of the maximum value of the feedback gain.

Keywords: adaptive friction clutch, separate closure, second generation, adjustment, load characteristic.

Состояние вопроса. В работах [1, 2, 3, 4] приведены результаты исследований вариантов адаптивной фрикционной муфты (АФМ) второго поколения с отдельным силовым замыканием. Показано, что введение в конструкцию АФМ второго поколения (базовый вариант) отдельного силового замыкания позволяет повысить точность срабатывания муфты за счет увеличения коэффициента усиления (КУ) [5, 6, 7, 8].

Постановка задачи исследования. Оценка возможности реализации вариантов АФМ второго поколения с отдельным силовым замыканием пар трения фрикционных групп.

Решение задачи. *Вариант 2.* Положим, что в данном варианте АФМ пары трения основной фрикционной группы (ОФГ) замыкаются усилием, равным F_{n1} , а пары трения дополнительной фрикционной группы (ДФГ) – усилием $F_{n1} - F_{n2}$. Данная схема силового замыкания может быть реализована при помощи общего силового замыкания пар трения ОФГ и ДФГ одной пружиной или группой пружин с усилием F_{n1} , а пар трения ОФГ – пружиной с усилием F_{n2} , поставленной по схеме «враспор» между нажимным диском и первой пружиной [9].

В соответствии с указанной схемой силового замыкания для данного варианта АФМ запишем:

$$T_1 = zR_{cp}f(F_{n1} - F_{p1}), \quad (1)$$

$$T_2 = z_1R_{cp}f(F_{n1} - F_{n2}), \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) приняты следующие обозначения: T_1, T_2 – вращающие моменты соответственно АФГ и ДФГ; z – число пар трения ОФГ; R_{cp} – средний радиус поверхностей трения пар ОФГ и ДФГ; f – коэффициент трения; F_{n1} – см. выше; F_{p1} – распорная сила; z_1 – число пар трения ДФГ; F_{n2} – усилие замыкания пар трения ДФГ.

Формула для определения значения распорной силы может быть представлена в следующем виде [10, 11]:

$$F_{p1} = \frac{T_3}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где T_3 – вращающий момент, передаваемый нажимным диском муфты; α – угол давления тел качения; r – радиус окружности, на которой расположены тела качения.

Используя в формуле (3) правую часть соотношения, полученного в работе [12], находим:

$$F_{p1} = F_{n2} C f \frac{(z-1)n + z_1(n-1)}{1 + (z-1)Cf}, \quad (4)$$

где C – коэффициент усиления (КУ) обратной связи; $n = F_{n1} / F_{n2}$ – коэффициент.

Анализируя соотношение сил F_{n1} и F_{n2} с учетом принятой схемы силового замыкания, имеем $n > 1$.

Сопоставление соотношения, полученного в работе [13], и формулы (4) показывает, что при одинаковых значениях параметров $F_{p1} > F_p$. Это означает, что при одинаковой форме кривой нагрузочной характеристики второй вариант АФМ будет обладать более высокой точностью срабатывания.

Подставляя соотношение (4) в выражение (1), получаем:

$$T_1 = z F_{n2} R_{cp} f \frac{n - z_1(n-1)Cf}{1 + (z-1)Cf}. \quad (5)$$

Очевидно, что значение вращающего момента T_1 становится равным нулю при значении КУ, вычисляемом по формуле:

$$C = \frac{n}{z_1(n-1)f}. \quad (6)$$

Значение вращающего момента T_1 автоматически изменяется в адаптивном режиме работы муфты, поэтому целесообразно сохранять положительным данный вращающий момент в интервале значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_{max}$ (где f_{min} , f_{max} – соответственно минимальный и максимальный коэффициенты трения), кроме его верхнего граничного значения.

Таким образом, предельным значением КУ для рассматриваемого варианта АФМ будет следующее значение):

$$C_{пред} = \frac{n}{z_1(n-1)f_{max}}. \quad (7)$$

Формула для определения вращающего момента муфты, с учетом соотношений (2) и (5), имеет вид:

$$T_n = F_{n2} R_{cp} f \frac{zn - z_1(z-1)Cf[z - (n-1)]}{1 + (z-1)Cf}. \quad (8)$$

Для повышения точности срабатывания АФМ перед многочленом в числителе соотношения (8) должен стоять знак «минус». Это возможно только при выполнении следующего условия:

$$z - (n-1) > 0,$$

откуда получаем:

$$n < z + 1. \quad (9)$$

Условие (9) обуславливает ограничение максимального значения коэффициента n . Поскольку, согласно соотношению (7), значение КУ $C_{пред}$ увеличивается с ростом коэффициента n , для исследуемого варианта АФМ целесообразно применять схему с увеличенным числом пар трения ОФГ для повышения точности срабатывания муфты.

Одновременно с этим следует ограничивать число пар трения ОФГ, согласно соотношению (7).

В случае равенства нулю разности в квадратных скобках числителя в соотношении (8) имеем:

$$T_n = F_{n2} R_{cp} f \frac{n}{1 + (z-1)Cf}. \quad (10)$$

Формула (10) идентична (за исключением множителя n) формуле для АФМ первого поколения (типа муфты Н.Д. Вернера), в том числе по точности срабатывания.

Для того чтобы исследуемый вариант АФМ обладал большей точностью срабатывания, чем базовый вариант АФМ второго поколения, необходимо выполнение следующего условия:

$$C_{пред} > C_1 = \frac{1}{z_1 f_{max}}, \quad (11)$$

где C_1 – КУ базового варианта АФМ второго поколения.

Подставляя в соотношение (11) правую часть выражения (7), получаем:

$$n > n - 1. \quad (12)$$

Очевидно, что неравенство (12) справедливо при всех значениях коэффициента n , поэтому исходное неравенство (11) также выполняется, что свидетельствует о более высокой точности

срабатывания АФМ.

Вариант 3. В данном варианте АФМ пары трения ОФГ замыкаются усилием, равным $F_{n1} + F_{n2}$, а пары трения ДФГ – усилием F_{n2} . Данная схема силового замыкания может быть реализована посредством видоизменения схемы по варианту 2.

В данном случае пружина с усилием натяжения F_{n1} должна быть установлена не «враспор» между нажимным диском и пружиной, замыкающей как пары трения ОФГ, так и пары трения ДФГ и имеющей усилие натяжения, равное F_{n2} , а с упором в опорную шайбу, жестко закрепленную на ведущей полумуфте.

Для рассматриваемого варианта АФМ запишем:

$$T_1 = zR_{cp}f(F_{n1} + F_{n2} - F_p), \quad (13)$$

$$T_2 = z_1F_{n2}R_{cp}f. \quad (14)$$

Используя изложенную выше методику, находим выражение для определения распорной силы:

$$F_p = F_{n2}Cf \frac{z_1 + (z-1)(n+1)}{1 + (z-1)Cf}, \quad (15)$$

где $n = F_{n1} / F_{n2}$ – коэффициент.

Согласно принятой схеме отдельного силового замыкания в рассматриваемом варианте АФМ на данном этапе исследования не представляется возможным дать количественную оценку коэффициента n (больше или меньше единицы).

С учетом соотношения (15) запишем выражение (13) в следующем виде:

$$T_1 = zF_{n2}R_{cp}f \frac{(1+n) - z_1Cf}{1 + (z-1)Cf}. \quad (16)$$

Полный вращающий момент АФМ равен сумме вращающих моментов T_1 и T_2 , поэтому с учетом соотношений (14) и (16) запишем:

$$T_n = F_{n2}R_{cp}f \frac{z(1+n) + z_1(1-Cf)}{1 + (z-1)Cf}. \quad (17)$$

В том случае, если нагрузочная характеристика рассматриваемой АФМ имеет форму кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_{max}$, то для повышения точности срабатывания муфты необходимо, чтобы при минимальном значении коэффициента трения f_{min} вращающий момент T_n был наибольшим, а при максимальном значении f_{max} – наименьшим.

Для выполнения данного условия в ранее найденном соотношении при значении коэффициента трения f_{min} должно выполняться условие

$$1 - Cf_{min} > 0, \quad (18)$$

а при значении коэффициента трения f_{max} :

$$1 - Cf_{max} < 0. \quad (19)$$

Из неравенства (18) находим ограничение максимального значения КУ:

$$C < \frac{1}{f_{min}}, \quad (20)$$

а из неравенства (19) – ограничение минимального значения КУ:

$$C > \frac{1}{f_{max}}. \quad (21)$$

Следовательно, на основании ограничений максимального и минимального значений КУ составим интервал его значений, удовлетворяющих высокой точности срабатывания АФМ:

$$\frac{1}{f_{min}} > C > \frac{1}{f_{max}}. \quad (22)$$

Анализ ранее найденного соотношения показывает, что при значении коэффициента трения f_{max} для повышения точности срабатывания АФМ не следует принимать значение КУ, равное

$$C = \frac{1}{f_{max}}. \quad (23)$$

В данном случае значение выражения, представляющего числитель в ранее найденном соотношении, не становится минимальным. Наоборот, при значении КУ, равном

$$C = \frac{q}{f_{\max}},$$

где ζ – коэффициент ($\zeta > 1$), числитель в ранее найденном соотношении становится меньше, чем при значении КУ C , вычисляемом по ранее найденной формуле.

Если принять значение КУ равным

$$C = \frac{1}{f_{\min}},$$

то величина вращающего момента T_n , согласно соотношению (36), становится минимальной, что отрицательно влияет на точность срабатывания АФМ. При уменьшении значения КУ C вращающий момент T_n при значении коэффициента трения f_{\min} увеличивается, однако при этом возрастает и вращающий момент T_n при значении коэффициента трения f_{\max} .

Для того чтобы АФМ обладала наибольшей точностью срабатывания, необходима более высокая скорость увеличения вращающего момента при значении коэффициента трения f_{\min} и меньшая скорость увеличения вращающего момента при значении коэффициента трения f_{\max} , при условии увеличения КУ.

Оценим скорости увеличения вращающего момента соответственно при значениях коэффициента трения f_{\min} и f_{\max} , если уменьшать значение КУ C . Используем для этого метод производной.

Первые производные ранее найденной функции по аргументу C при значениях коэффициента трения f_{\min} и f_{\max} соответственно равны:

$$D(T_{nf_{\min}})'_C = -\frac{f_{\min} \{z_1 f_{\min} [1 + (z-1)Cf_{\min}] + (z-1)[zf_{\min}(1+n) + z_1(1-Cf_{\min})]\}}{[1 + (z-1)Cf_{\min}]^2}; \quad (24)$$

$$D(T_{nf_{\max}})'_C = -\frac{f_{\max} \{z_1 f_{\max} [1 + (z-1)Cf_{\max}] + (z-1)[zf_{\max}(1+n) + z_1(1-Cf_{\max})]\}}{[1 + (z-1)Cf_{\max}]^2}. \quad (25)$$

В производных (24) и (25) опущены одинаковые постоянные члены F_{n2} и R_{cp} .

Обе производные отрицательные, что указывает на убывающий характер ранее найденной функции при увеличении аргумента C и, наоборот, на ее возрастающий характер при уменьшении C .

Результаты исследования могут быть использованы при выборе необходимого варианта АФМ с раздельным силовым замыканием, его расчете и проектировании с учетом условий эксплуатации.

Выводы:

1. Первый вариант АФМ с раздельным силовым замыканием, который характеризуется автономным замыканием пар трения ОФГ и ДФГ, не влияющим друг на друга, не имеет преимущество по точности срабатывания перед базовым вариантом АФМ второго поколения.
2. Показана возможность реализации рассмотренных вариантов АФМ второго поколения с раздельным силовым замыканием пар трения ОФГ и ДФГ.
3. Выбор варианта схемы раздельного силового замыкания в АФМ второго поколения влияет на ограничение максимального значения КУ обратной связи.
4. Независимо от схемы раздельного силового замыкания в АФМ второго поколения предельное значение КУ обратно пропорционально числу пар трения ДФГ.
5. Все варианты АФМ с раздельным силовым замыканием, кроме варианта, упомянутого в п. 1, обладают более высокой точностью срабатывания по сравнению с базовым вариантом АФМ второго поколения.

Список использованных источников

1. Анализ переходного периода адаптивных фрикционных контактов в условиях положительного прироста коэффициента трения / М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2000. – № 3. – С. 14–17.
2. Анализ точности срабатывания вариантов адаптивной фрикционной муфты с раздельным силовым замыканием // М.П. Шишкарев, А.Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 3. – С. 36–41.
3. Оптимизация коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт первого поколения с дифференцированными парами трения / М.П. Шишкарев // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

4. Шишкарёв, М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел 2-го поколения // М.П. Шишкарёв // 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.

5. Компоновка базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 7. – С. 16–20.

6. 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.

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

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

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

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

11. 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.

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

13. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 12. – С. 17–18.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.